

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

PRINCIPY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN

WIND POWER PLANTS PRINCIPLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Polcsák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. František Pochylý, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jakub Polcsák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **prof. Ing. František Pochylý, CSc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Principy větrných elektráren

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce bude zaměřena na popis stávajících větrných elektráren, jejich výkonu a vlastností, pozitivních i negativních. Pozornost bude zaměřena zejména na nové principy větrných elektráren, které byly publikovány, ale nebyly využity. Dále na patentovou rešerši nových principů větrných elektráren. Zvláště těch, které by bylo možno spojit s konstrukcí vodojemů.

Cíle bakalářské práce:

Popis a funkce stávajících větrných elektráren a jejich výkonů, včetně odhadu ceny.

Popis nekonvenčních druhů větrných elektráren.

Možnost využití větrných elektráren ve spojení s vodojemy.

Seznam doporučené literatury:

CROME, Horst. Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-86167-19-4.

HALLENGA, Uwe. Malá větrná elektrárna: stavební návod s konstrukčními výkresy. 2., přeprac. a rozš. vyd. Ostrava: HEL, 2006. ISBN 80-86167-27-5.

RYCHETNÍK, Václav, Jiří PAVELKA a Josef JANOUŠEK. Větrné motory a elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01563-7.

CENGEL, Yunus A. a John M. CIMBALA. Fluid mechanics: fundamentals and applications. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, c2010. ISBN 00-772-9546-3.

BRDIČKA, Miroslav. Mechanika kontinua. Praha: Československá akademie věd, 1959. Úvod do teoretické fyziky.

ČERVINKOVÁ, Kateřina. Využití větrné energie pro dopravu kapalin. Vysoké učení technické v Brně. Diplomová práce. VUT v Brně, FSI, EÚ-Odbor fluidního inženýrství V. Kaplana, 2017. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

Větrná energie současnosti [online], In:

http://csve.cz/pdf/cz/CSVE-brozura_v06-preview-restricted.pdf.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je vypracovať čo najrozsiahlejšiu rešerš, ktorá sa zaoberá popisom a funkciou existujúcich veterných elektrární / čerpadiel a ich následné využitie v spojení s vodojemami. V práci sú veterné elektrárne rozdelené podľa ich veľkosti. Venoval som sa ich princípom fungovania, ekonomikou a vlastnosťami. Ďalej som sa venoval budúcnosti veterných elektrární. Popisoval som ich princíp fungovania a vlastnosti. Posledná téma bola venovaná vodojemom. V prvej časti som opisoval ich umiestnenie voči spotrebiteľovi, konštrukciu a využitie. Druhá časť rieši ich spojenie s veternými elektrárnami / čerpadlami a ich efektívne využitie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Veterná elektráreň, Veterné čerpadlo, Vodojem

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to elaborate the most extensive search, which deals with the description and function of existing wind turbines / pumps and their use in connection with water tanks. Wind turbines are divided by size. I have dealt with their principle of functioning, economy and properties. Next, I devoted myself to the future of wind farms. I have described their principles of functioning and properties. The last topic was dedicated to water tanks. In the first part I described their placement against the consumer, construction and use. The second part deals with their connection with wind turbines / pumps and their efficient use.

KEYWORDS

Wind power, Waterpump, Water tank

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLCSÁK, Jakub. *Principy větrných elektráren* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117029>.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému *Princípy veterných elektrární* vypracoval samostatne, pod vedením vedúceho bakalárskej práce prof. Ing. František Pochylý, CSc. a s využitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname, ktorý je súčasťou danej práce.

V Brne dňa 22. 5. 2019.....

PODĚKOVÁNÍ

Rád by som touto cestou poďakoval vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Františkovi Pochylému, CSc. za odbornú pomoc a cenné rady. Poďakovanie taktiež patrí mojej rodine, priateľom a mojej priateľke za podporu počas štúdia.

OBSAH

ÚVOD	15
1 EXISTUJÚCE VETERNÉ ELEKTRÁRNE.....	16
1.1 Základné pojmy.....	16
1.2 Veľké veterné elektrárne	17
1.2.1 Základné časti a ich funkcie.....	18
1.2.2 Veľké veterné elektrárne na mori (Offshore).....	19
1.2.3 Ekonomika.....	20
1.2.4 Vlastnosti	22
1.3 Malé veterné elektrárne	25
1.3.1 Vertikálna os otáčania.....	25
1.3.2 Horizontálna os otáčania	28
2 BUDÚCNOSŤ VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ.....	29
2.1 Solar Wind Downdraft Tower.....	29
2.1.1 Princíp fungovania veže	29
2.1.2 Ekonomika.....	30
2.2 Dutch WindWheel.....	30
2.2.1 Princíp fungovania veternej turbíny EWICON	31
2.3 Vortex Bladeless.....	32
2.3.1 Štruktúra a geometria.....	33
2.3.2 Funkcia a náklady	33
2.4 TYER-WIND	34
2.4.1 Princíp fungovania	34
3 VETERNÉ ČERPADLÁ.....	35
3.1 Mechanizmus a jeho časti	35
3.1.1 Rotor (veterné koleso)	35
3.1.2 Prevodovka.....	36
3.1.3 Čerpací systém (piestové čerpadlo).....	37
3.1.4 Ostatné časti.....	39
3.2 Výrobné náklady	40
3.3 Špeciálne vlastnosti.....	41
4 VODOJEMY.....	43
4.1 Umiestnenie vodojemov voči spotrebiteľovi.....	43
4.1.1 Vodojem pred spotrebným územím (čelný)	44
4.1.2 Vodojem v spotrebnom území	44
4.1.3 Vodojem za spotrebným územím (koncový).....	44

4.1.4	Prerušovaný vodojem (Pásmový)	45
4.1.5	Vodojem pred aj za spotrebným územím	45
4.2	Konštrukcia vodojemov.....	46
4.2.1	Zemné vodojemy	46
4.2.2	Nadzemné vodojemy	49
4.3	Vodojemy v spojení s vetrom	51
5	ZÁVER.....	53
6	ZOZNAM ZDROJOV	54
7	ZOZNAM OBRÁZKOV	56
8	ZOZNAM TABULIEK	57

ÚVOD

Moderné veterné turbíny sa v dnešnej dobe využívajú hlavne ako zdroj energie. Veterné turbíny premieňajú časť kinetickej energie vetra na mechanickú energiu, ktorá sa následne v generátore mení na elektrickú energiu. Hlavným problémom pri výrobe elektrickej energie z vetra je, že ju nie je možné uskladniť. Je pravda, že veternú elektrárňu môžeme odstaviť pri prebytku, lenže toto riešenie nám nepomôže pri bezveternostných podmienkach.

Výroba elektrickej energie nie je jediný spôsob ako využiť energiu vetra. Ďalšia možnosť ako využívať energiu vetra je čerpanie vody pomocou veterných čerpadiel. Veterné čerpadlá premieňajú časť kinetickej energie vetra na mechanickú energiu alebo potenciálnu energiu kvapaliny. V minulosti sa nazývali veterné čerpadlá „veterné mlyny“, ktoré sa používali hlavne na mletie obilia.

Prvá kapitola bakalárskej práce sa bude zaoberať existujúcimi veternými elektrárnami. Pozornosť bude zameraná na popis a funkciu existujúcich veterných elektrární a ich vlastností. Taktiež sa budem zaoberať odhadom cien a výkonov pri daných elektrárnach.

Druhá kapitola sa bude zameriavať na popis veterných elektrární, ktoré boli publikované, ale reálne sa ešte nevyužili. Vybral som štyri veterné elektrárne, ktorých funkcie a vlastnosti by sa mohli vyrovnávať, dokonca až nahradiť existujúce veterné elektrárne.

Tretia kapitola je venovaná veterným čerpadlám. Budem opisovať ich funkciu, cenu a vlastnosti.

Posledná kapitola je hlavná kapitola, ktorá je zameraná na popis a funkciu vodojemov a ich možnosti využitia v spojení s veternými turbínami alebo čerpadlami.

Potreba energie pre ľudstvo exponenciálne narastá, preto je nutné prichádzať s novými nápadmi ako lepšie hospodáriť a využívať existujúce zdroje energie alebo objavovať nové, ktoré zasýtia ľudské potreby po elektrickej energii.

Cieľom tejto bakalárskej práce je urobiť, čo najrozsiahlejšiu rešerš na popis existujúcich veterných elektrární, ich výkonu a vlastností. Pozornosť je zameraná na nové princípy využitia energie vetra, ktoré boli publikované ale neboli využité. Ďalej na patentovú rešerš nových princípov veterných elektrární, ktoré je možné spojiť s konštrukciou vodojemov.

1 EXISTUJÚCE VETERNÉ ELEKTRÁRNE

Na začiatku vývoja veternej energetiky vznikla široká škála technológií, ale v zosilňujúcom trende zväčšovania rozmerov veterných elektrární prežili len niektoré z nich. Hlavnú líniu v súčasnej dobe tvoria veľké veterné elektrárne, ktorým sa v posledných rokoch darí presadzovať ako jeden zo základných a relatívne lacných zdrojov elektrickej energie. V niektorých aplikáciách zostali zaujímavou technológiou malé veterné elektrárne. Ich význam spočíva v lokálnych aplikáciách, napríklad za účelom zaistenia energetickej sebestačnosti budov alebo pri zásobovaní elektrinou v miestach bez pripojenia k elektrickej sieti. [1]

Z hľadiska rozmerov môžeme za veľké veterné elektrárne považovať tie, ktorých priemer rotoru presahuje 45m a výkon 750kW. Veterné elektrárne s rotorom o priemere do 16m a výkon do 60kW môžeme radiť medzi malé veterné elektrárne. Existujú aj stredné veterné elektrárne. V tejto publikácii sa tento pojem nevyskytne z dôvodu nízkeho výskytu veterných elektrární v kategórii 50-300kW. [1]

1.1 Základné pojmy

Turbína veternej elektrárne získava svoju energiu prostredníctvom zníženia rýchlosti vzdušného prúdenia, čo vedie k čiastočnej premene kinetickej energie vzduchu na kinetickú energiu rotoru elektrárne. Z odbornej literatúry je známe, že kinetická energia vetra narastá s treťou mocninou rýchlosti prúdenia: [2]

$$P_t = \frac{\rho_1}{2} * A * v^3 \text{ [Watt]} \quad (1)$$

Kde P_t je výkon teoreticky obsiahnutý vo vetre (vo wattoch) za predpokladu, že by sa vietor úplne zabrzdil; ρ_1 je hustota vzduchu, ktorá sa do vzorca obvykle dosadzuje s hodnotou $\rho_1 = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (na hladine mora). „A“ je plocha, ktorá stojí kolmo proti smeru vetra, ktorým vietor prechádza, dosadená v m^2 . U veterných zariadení s vodorovnou osou, je to plocha vymedzená otáčajúcimi sa lopatkami - teda buď kruhová plocha, alebo prstencová plocha; „v“ je rýchlosť vetra dostatočne ďaleko pred veternou turbínou. Do vzorca sa dosadzuje v m/s .

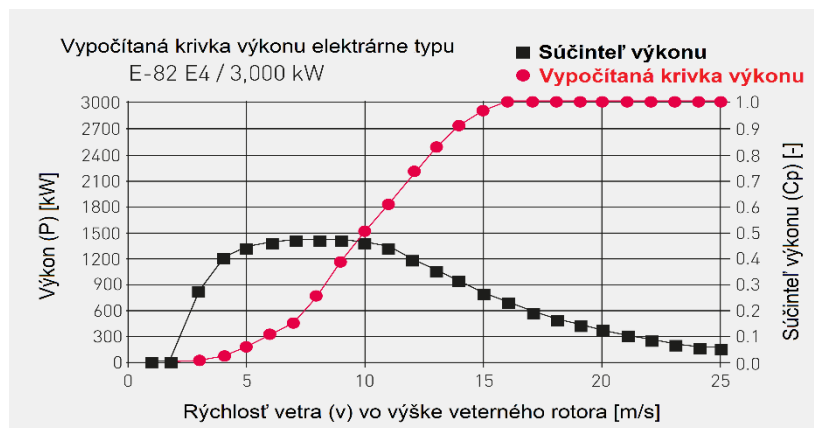
Ani najmodernejšie veterne turbíny nemôžu teoretický výkon P_t obsiahnutý vo vetre previezť na výkon veternej turbíny stopercentne. Pretože vzduch za veternou turbínou musí prúdiť ďalej určitou rýchlosťou, nie je možné vietor úplne zabrzdiť, takže určitá časť kinetickej energie v ňom zostane zachovaná. Pre výkon veternej turbíny platí: [1, 2]

$$P = \frac{\rho_1}{2} * c_p * A * v^3 \text{ [Watt]} \quad (2)$$

Kde c_p je súčiniteľ výkonu. Teoretická maximálna hodnota súčiniteľa výkonu c_p je podľa Betzovho limitu 0,593, reálne sa však hodnoty c_p pohybujú do 0,5.

Výroba elektrickej energie sa udáva v kWh, MWh alebo GWh a vzťahuje sa spravidla ku obdobiu jedného roku (v tom prípade je nutné uviesť aj obdobie, napríklad MWh/rok). Výroba závisí na veterných pomeroch v danom mieste, výkonovej krivke

príslušnej veternej elektrárne a na technických a ďalších okolnostiach. Výkonová krivka veternej elektrárne definuje závislosť výroby elektrickej energie na rýchlosti vetra (obr.1-1). Typická elektráreň začína vyrábať už pri 4 m/s , potom výkon prudko rastie až do dosiahnutia plného výkonu medzi 10 až 15 m/s . Pri rýchlostiach nad 25 m/s sa veterná elektráreň z bezpečnostných dôvodov odstavuje. [1]



obr. 1-1 Výkonová krivka veternej elektrárne Enercon E-82 E4 o inštalovanom výkone 3,0MW. [35]

Pomer medzi množstvom skutočne vyrobenej energie za určité obdobie a teoretickou výrobou elektrickej energie v prípade, že by elektráreň v tomto období vyrábala nepretržite na plný výkon, sa nazýva kapacitný faktor. V našich podmienkach sa jeho reálne hodnoty pohybujú na úrovni 20-25%. [1]

1.2 Veľké veterné elektrárne

Hlavným zdrojom energie z vetra sú v dnešnej dobe trojlopatkové horizontálne veterné elektrárne. Čoraz viac sa začínajú presadzovať vertikálne turbíny. Ich nevýhodou v porovnaní s horizontálnou turbínou je menšia účinnosť a tým spojený aj menší výkon. Tento efekt je zvýraznený aj pevným nastavením plôch, kedy využitie maximálneho výkonu je len v pomerne úzkom rozmedzí rýchlosti vetra. Veľké horizontálne turbíny majú práve s cieľom maximálneho využitia rýchlosti vetra nastaviteľné listy, žiaľ v porovnaní s horizontálnymi turbínami je ich veľmi malo a majú menší výkon, preto som tento typ turbíny zahrnul ku malým veterným elektrárňam. [3]



obr. 1-2 Veterná elektráreň v meste Bruck an der Leitha (priemer rotora 70m, výška veže 65m, celkový výkon 9000kW). [36]

1.2.1 Základné časti a ich funkcie

Súčasný veľký veterný elektrárne sú z hľadiska základných konštrukčných prvkov dosť podobné. Vo väčšine aplikácií sa jedná o trojlisté lopatky s horizontálnou osou rotácie a rotorom, ktorý je obrátený proti smeru prúdenia vetra. Základné konštrukčné prvky sú stožiar, rotor a strojovňa (gondola). [1, 4]

Stožiar môže mať podobu tubusu (*obr. 1-2*) alebo priehradkovej (prútovej) konštrukcie (*obr. 1-3*). V dnešnej dobe prevládajú oceľové tubusové stožiare, ktoré sa montujú na mieste stavby zo segmentov o dĺžke 20m. Priehradkové konštrukcie boli viac využívané v minulosti. Dnes sú rozšírené mimo Európy, avšak pri stále vyšších stožiaroch sa opäť dostávajú do pozornosti výrobcov technológií. [1, 3, 4]

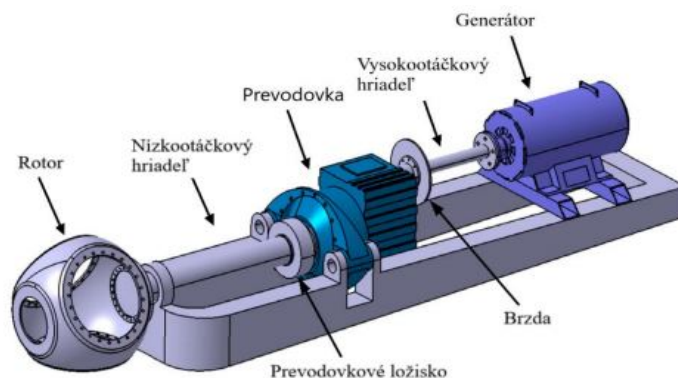
Rotor je zložený z lopatiek, ktoré sú tvarovo a aerodynamicky optimalizované pre maximálny zisk energie z vetra, ktorý nimi prechádza. Počet lopatiek rotora sa ustálil na počet tri kvôli dynamike a efektívnosti. Aby zvyšovanie rýchlosti vetra nespôsobovalo poškodenie generátora, musí byť od určitej rýchlosti vhodným spôsobom znížený výkon dodávaný turbínou. K tomuto účelu sa používajú rôzne regulácie výkonu. Najpoužívanejšie sú regulácie natáčania lopatiek rotora na väčšie alebo menšie uhly nastavenia, a tým zníženie vztlakovej sily na lopatkách, tzv. regulácia *pitch* alebo *aktívne shall*. [1]



obr. 1-3 Veterná elektrárň Laasow typu Fuhrlander FL 2500 (priemer rotora 90m, inštalovaný výkon 2,5MW). S výškou 160m bola dlho najvyššia elektrárň na svete. [37]

Otáčky všetkých väčších vrtúľ sú nízke až veľmi nízke. Obvodová rýchlosť špičiek vrtuľových lopatiek rotora by nemala byť väčšia ako 60 m/s, maximálne do 80 m/s. Väčšie obvodové rýchlosti spôsobujú trvalo obťažujúci zvuk veternej turbíny. Preto sú medzi veternou turbínou a elektrickým generátorom zvyčajne vložené prevodovky, ktoré zvýšia otáčky. U veľkých veterných elektrární je táto prevodovka samostatným technickým dielom s vlastným olejovým hospodárstvom, chladením, meraním teplôt na ložiskách a signalizáciou nebezpečných stavov. Prevodovka musí byť odhlučnená, pretože spôsobuje väčší hluk ako samotné listy rotora. [4]

Elektrická energia sa vyrába v generátoroch, odkiaľ sa odvádza do elektrorozvodnej siete. Väčšie výkony vyžadujú synchronný generátor. Synchronný generátor musí byť ku sieti správne prifázovaný, nemôžeme ho k sieti pripojiť priamo ako asynchronný generátor (využívaný pri malých veterných elektrárňach). [4]



obr. 1-4 Bežné usporiadanie pohonu veternej turbíny. [15]

Celý tento systém je umiestnený v gondole, ktorá sa môže otáčať na stožiar. Všetky tieto súčasti sú veľké a ťažké, preto sú v gondole uložené do strojovne, ktorá je tvorená oceľovými nosníkmi. Súčasťou všetkých veľkých veterných elektrární je aj brzdný a riadiaci systém. Riadiaci systém v súčasnej dobe umožňuje jemnú reguláciu v závislosti na vonkajších podmienkach, ku čomu pomáhajú informácie o vetre získané z anemometrov umiestnených na gondole veternej elektrárne. [1, 4]

1.2.2 Veľké veterné elektrárne na mori (Offshore)

Obmedzený počet vhodných lokalít na pevnine nás vedie k tomu, aby sme budovali veterné elektrárne aj na mori. K atraktivite tejto možnosti prispievajú celkovo lepšie veterné podmienky ako sú vyššie rýchlosti vetra, nižšie turbulencie a nižší strih vetra. Prvé veterné elektrárne na mori sa začali budovať už v 90. rokoch 20 storočia, výrazný pokrok nastal až v 21 storočí. Spočiatku sa jednalo o jednotlivé veterné farmy blízko pobreží, avšak skutočný potenciál majú veterné farmy na voľnom mori, kde výstavba nie je limitovaná ochranou prírody, lodnou dopravou a narušením výhľadu na more. Pokrok v budovaní veterných elektrární na mori je pomalý z dôvodu technickej a finančnej náročnosti. [1]

Veterná elektráreň na pevnine sa od veternej elektrárne na mori vo veľa ohľadoch odlišuje. Hlavná odlišnosť nastáva v zložitejšej konštrukcii základov morských veterných elektrární, od jednoduchého betónového základu ukotveného vlastnou tiažou (vhodný pre menšie hĺbky) až po rôzne varianty trojnožiek. Pre hlboké vody sú vo vývoji takzvané plávacie elektrárne. Ďalšia odlišnosť je v miere spoľahlivosti a bezporuchovosti. Oprava veternej turbíny na mori je náročná a v prípade nepriaznivého počasia môže porucha veternej elektrárne znamenať aj niekoľkomesačnú odstávku a značnú stratu na výrobe energie. Preto elektrárne na mori musia byť robustnejšie, a to aj s ohľadom na celkovo vyššiu rýchlosť vetra. [1]

Výstavba alebo veľké opravy morských veterných elektrární sa realizujú pomocou špeciálnych plavidiel vyrobených pre tento účel. Z dôvodu odľahlosti, ťažkých poveternostných podmienok a vln je ich bežný servis náročný. U veľkých fariem na voľnom mori sa uvažuje o zriadení stálych základní. Výkon elektrární sa vyváža najskôr z jednotlivých elektrární do spoločnej trafostanice a následne sa pomocou vysokokapacitného kábla dostáva na pobrežie. [1]

Priemerná veľkosť novoinštalovaných veterných turbín na mori v roku 2018 bola 6,8 MW, čo predstavuje nárast o 15% než v roku 2017. Veľká Británia spustila najväčšiu turbínu na svete (*V164-8,8 MW* z *MHI Vestas Offshore Wind*). V štádiu vývoja je elektrárňa o výkone 12MW s názvom *HELIADÉ-X 12MW*, ktorá bude poháňaná 220 m rotorom vo výške 260 m s kapacitným faktorom 64%. Taktiež sú skúmane možnosti konštrukcie strojov o výkonoch až 20MW. Svetová a súčasne najväčšia prevádzka veternej farmy na voľnom mori je *Walney Extension 3* (657 MW), ktorá sa nachádza vo Veľkej Británii. Prvý krát bola spustená v roku 2018. [5, 6]



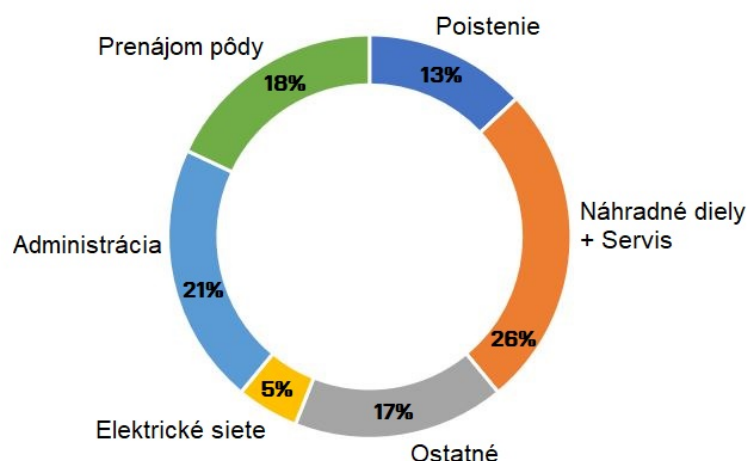
obr. 1-5 koncept veternej turbíny HELIADÉ-X o výkone 12MW. [5]

1.2.3 Ekonomika

Ekonomika veterných elektrární je zadaná tromi faktormi, ktoré sú:

Náklady na výrobu elektrickej energie:

Náklady na výrobu elektrickej energie z vetra tvoria hlavne počiatočné náklady. Hlavnou položkou je cena veternej elektrárne. Ďalšími významnými zložkami sú náklady na vyvedenie výkonu do elektrorozvodnej siete a náklady spojené s projektom (*typické rozloženie nákladov ukazuje tab. 2*). Ďalšie náklady, ktoré vplývajú na výrobu elektriny sú prevádzkové a údržbové náklady. Veterná elektrárňa, ako každé iné priemyselné zariadenie, vyžaduje pravidelný servis a údržbu, čo predstavuje značný podiel na celkových ročných nákladoch veternej elektrárne. Avšak, v porovnaní s ostatnými elektrárnami sú náklady spojené s údržbou a servisom veľmi nízke. Prevádzkové a údržbové náklady sa skladajú z nákladov na poistenie, administratívu, pravidelnú údržbu, opravy a náhradné diely. Percentuálne rozdelenie prevádzkových a údržbových nákladov je znázornené na obr. 1-6. [7]



obr. 1-6 Rozdelenie prevádzkových a údržbových nákladov veternej elektrárne. [7]

Cena, za ktorú je vykupovaná jednotka vyrobenej elektrickej energie

Cena, ktorú výrobca obdrží za elektrinu vyrobenú pomocou veternej turbíny, je podobne ako u ostatných obnoviteľných zdrojov regulovaná zákonom. Pre Českú veternú energiu v roku 2019 má táto cena hodnotu 1930 Kč/MWh. [8]

tab. 1 Porovnanie výkupných cien a ročných zelených bonusov na elektrinu pre veterné elektrárne od roku 2003 do roku 2019. [8]

Druh energie	Dátum uvedenia elektrárne do prevádzky		Jednotarifné pásmo prevádzkovania	
	Od (vrátane)	Do (vrátane)	Výkupné ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Veterná energia	/	31.12.2003	4 171	3 321
	1.1.2004	31.12.2004	3 768	2 918
	1.1.2005	31.12.2005	3 585	2 735
	1.1.2006	31.12.2006	3 273	2 423
	1.1.2007	31.12.2007	3 216	2 366
	1.1.2008	31.12.2008	3 137	2 287
	1.1.2009	31.12.2009	2 861	2 011
	1.1.2010	31.12.2010	2 676	1 826
	1.1.2011	31.12.2011	2 618	1 768
	1.1.2012	31.12.2012	2 561	1 711
	1.1.2013	31.12.2013	2 387	1 537
	1.1.2014	31.12.2014	2 224	1 374
	1.1.2015	31.12.2015	2 143	1 293
	1.1.2016	31.12.2016	2 048	1 198
	1.1.2017	31.12.2017	2 008	1 158
	1.1.2018	31.12.2018	1 969	1 119
	1.1.2019	31.12.2019	1 930	1 080

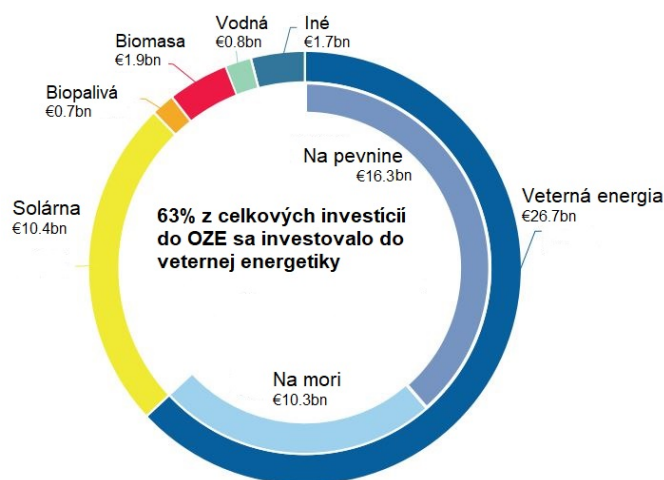
Množstvo vyrobenej energie

Výroba elektrickej energie závisí na veternej lokalite, technických parametroch veternej turbíny a na miere jej spoľahlivosti. Limitná hodnota je teoretická výroba energie a znázorňuje nám ju výkonová krivka veternej elektrárne (obr. 1-1). Skutočná výroba je v porovnaní s teoretickou vždy nižšia. Na skutočnú výrobu vplyva veľa faktorov. Napríklad plánované a neplánované odstávky elektrárne, poruchy, výpadky elektrickej siete, vplyv námrazy atď. [1]

tab. 2 Štruktúra výrobných nákladov pre typickú 2MW
 veternú elektrárňu inštalovanú na pevnine.[1]

Položka	Náklady (1000€/MW)	Podiel (%)
Veterná turbína	928	75,6
Vyvedenie výkonu	109	8,9
Základy	80	6,5
Prenájom pôdy	48	3,9
Elektrická inštalácia	18	1,5
Konzultácie	15	1,2
Finančné náklady	15	1,2
Výstavba ciest	11	0,9
Kontrolný systém	4	0,3
Celkom	1228	100

Európa inštalovala v roku 2018 11,7 GW novej veternej energie. Ide o pokles o 32% v porovnaní s ročnými inštaláciami v roku 2017. 9 GW energie bolo inštalovaných na pevnine a 2,65 GW na mori. Európa vyradila z prevádzky 0,4 GW kapacity veterných elektrární, z ktorých takmer všetky mali veternú energiu na pevnine. Rok 2018 bol najhorším rokom pre nové inštalácie na pevnine od roku 2008, ale inštalovala viac kapacity ako akákoľvek iná forma výroby energie v EÚ. Veterná energia predstavovala v roku 2018 63% z celkových investícií do obnoviteľných zdrojov energie, čo predstavuje nárast o 11% oproti roku 2017. V súčasnosti je v Európe k dispozícii 189 GW inštalovanej veternej energie: 170 GW na pevnine a 19 GW na mori. [9]



obr. 1-7 Rozdelenie investícií do OZE pre rok 2018. [9]

1.2.4 Vlastnosti

Rovnako ako solárna energia, aj veterná energia si v dnešnej dobe získava čoraz väčšiu popularitu vo svete. V Spojených štátoch amerických majú v roku 2030 za cieľ získavať až 20 % elektrickej energie z veľkých veterných elektrární. Niet pochýb o tom, že veterná energia v spojení so solárnou energiou pomôžu ľuďom znížiť produkciu elektrickej energie pomocou fosílnych palív ako je uhlie, plyn a ropa už v blízkej budúcnosti. Aj v prípade veternej energie však platí, že má svoje kladné a záporné vlastnosti. [10]

Medzi kladné vlastnosti patria:

Čistý zdroj energie: na rozdiel od uhlia alebo ropy neznečisťuje ovzdušie a nevyžaduje ani žiadne používanie ničivých chemikálií. Pri využívaní tohto čistého zdroja energie nám nehrozí zhoršenie skleníkového efektu. [10]

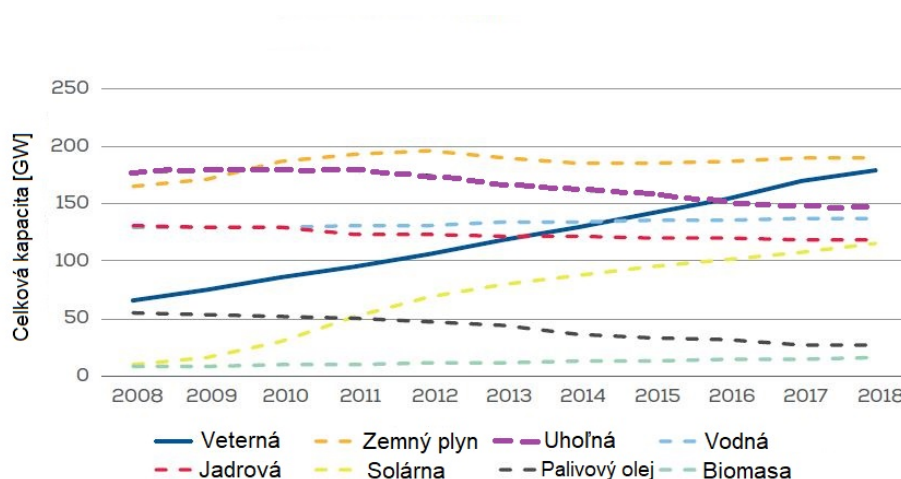
Obnoviteľný zdroj energie: vietor je energia „zadarmo“. V prípade, že žijete v geologickej oblasti, ktorá je veterná, je pripravená a čaká na výstavbu veternej elektrárne. Vietor, ako obnoviteľné aktívum, sa nikdy nezačne miňať ako iné neobnoviteľné aktíva (fosílna palivá). [10]

Recyklovateľná: po ukončení prevádzky je návrat do stavu „zelenej lúky“ relatívne jednoduchý. Konštrukčné materiály elektrárne sú recyklovateľné.[11]

Ekologická: z hľadiska dopadov na prírodu a životné prostredie patrí veterná energia medzi najčistejšie energetické zdroje. [10]

Má obrovský potenciál: veterná energia zaznamenala vysoký rast v priebehu posledných 10 rokov spoločne so solárnou energiou. (obr. 1-8). Veterná energia má relatívne vysoký výkon na jeho rozmery napríklad v porovnaní so solárnou energiou. Niekoľko nezávislých výskumných tímov zistilo, že celosvetový potenciál veternej energie je viac ako 400 TW . Pri výpočtoch zistili, že energia, ktorú obsahuje vietor je 20-krát väčšia než potrebuje celá ľudská populácia. [9]

Náklady na údržbu a prevádzku sú nízke. Veterná energia ako zelený zdroj energie prispieva ku zníženiu spotreby fosílnych palív. Široká škála možností inštalácie veternej elektrárni od priemyselných aplikácií až ku inštaláciám pre domácnosti. Ich význam spočíva taktiež ako primárny zdroj energie pre miesta bez pripojenia k elektrickej sieti.



obr. 1-8 Celková generovaná energia v EÚ od roku 2008-2018. [9]

Medzi záporné vlastnosti patria:

Hluk: u súčasných veľkých veterných elektrárníach prevažuje aerodynamický hluk, pretože mechanický bol v priebehu vývoja podstatne obmedzený. Podľa nariadenia vlády Českej republiky č.500/2000 Sb. nesmie tzv. ekvivalentná hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ pochádzajúca z veterných elektrární prekročiť v tzv. chránených vidieckych priestoroch stavieb hodnotu 50 dB v dennej dobe a hodnotu 40 dB v nočnej dobe. Aby bol splnený nočný limit, je nutné umiestňovať veterné elektrárne ďalej ako 400-500 m od obytnej zástavby. [1, 11]

Stroboskopický efekt: stroboskopický efekt je jav spôsobený periodickým zatíňovaním slnečného kotúča listu vrtule, čo môže pôsobiť na obyvateľov v okolí obťažujúcim dojmom. Podľa nemeckej normy nesmie reálna doba trvania stroboskopického efektu v mieste chránených budov presiahnuť osem hodín ročne. Vo väčšine prípadov, kedy sú splnené hlukové limity, nedochádza ani ku porušeniu pravidiel pre výskyt stroboskopického efektu. [1, 11]

Krajinný ráz: veterné elektrárne sa nemôžu stavať v chránených krajinných oblastiach a národných parkoch. Pred samotnou výstavbou je potrebné vypracovať hodnotenie vplyvu na ráz krajiny (vizualizáciu). Z toho vyplýva, že na stavbu veternej elektrárne je vhodných veľmi málo plôch. [11]

Rušenie elektromagnetického signálu: ak je elektrárňa vybavená kovovými lopatkami, môžu spôsobiť (v prevádzke) rušenie príjmu televízneho a rádiového signálu (elektrárňa stojí v ceste medzi vysielačom a prijímačom). [11]

Uskladnenie energie: hlavný problém pri výrobe elektrickej energie nastáva pri jej prebytku a následnému uskladňovaniu. Podiel elektrickej energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov energie je na trhu čoraz väčší. S tým však nastáva otázka efektívneho využívania tejto energie, aby sa zachovala rovnováha medzi jej výrobou a spotrebou. Prebytok energie sa dá uložiť do batérií a akumulátorov, lenže tie majú len obmedzenú životnosť a kapacitu. Ak by sme mali nákladovo efektívne spôsoby uskladňovania veternej energie, situácia by bola rozhodne iná. Aktuálne musia byť veterné turbíny používané v kombinácii s inými zdrojmi energie, aby sme uspokojili našu energetickú náročnosť. [12]

Nepredvídateľná: vietor je nepredvídateľný a dostupnosť veternej energie nie je konštantná. V prípade, že na určitý čas nastane bezvetrie, môžeme skončiť bez energie (alebo sa môžeme spoliehať na energetickú spoločnosť). Búrky alebo silný vietor môžu spôsobiť poškodenie veternej turbíny, najmä ak je zasiahnutá bleskom. Veterná energia preto nie je vhodná ako základný zdroj energie. [13]

Vysoké výrobné náklady: hoci sa časom znižujú náklady na veterné turbíny, stále je ich cena príliš vysoká. Výroba zahŕňa okrem výstavby aj veľa iných položiek, ktoré sme si uviedli v tab. 2. Všetky tieto položky prispievajú k celkovým nákladom na inštaláciu veterných turbín. Keď vezmeme do úvahy offshore veterné farmy, náklady budú omnoho vyššie. Inštalácia veterných elektrární na mori je oveľa zložitejšia ako na pevnine. Niektoré spoločnosti si dokonca objednali lode na mieru, ktoré sú schopné prepravovať a inštalovať veterné turbíny na mori. [13]

1.3 Malé veterné elektrárne

Malé veterné elektrárne nachádzajú uplatnenie hlavne v lokálnych aplikáciách, napríklad za účelom zaistenia energetickej sebestačnosti v obytných domoch, kde predstavujú alternatívny zdroj energie, alebo pri zásobovaní elektrinou v miestach bez pripojenia na verejnú elektrickú sieť napr. záhradkárske oblasti a pod. Malé veterné turbíny sa skladajú z lopatiek rotora, generátora alebo alternátora, veže, kabeláže a z prvkov vyvažujúcich systém (batérie, meniče, regulátory, ističe). Taktiež v prípade malých veterných elektrární je najčastejšie používaným princípom použitie rotora s horizontálnou osou otáčania. Na rozdiel od veľkých veterných elektrární je však ich konštrukcia podstatne jednoduchšia a objavuje sa tu širšie spektrum používaných riešení. V tejto podkapitole si ukážeme ako fungujú veterné elektrárne s vertikálnou a horizontálnou osou otáčania a uvediem prehľad technických riešení malých veterných elektrární ponúkaných na trhu. Zapojenie týchto zariadení je možné realizovať dvomi spôsobmi. Systém zapojený do siete „Grid-on“ a Systém nezávislý od siete „Grid-off“. Rozdiel v týchto zapojeniach je v tom, že pri zapojení do verejnej elektrickej siete sa prebytočná elektrická energia predáva za výkupnú cenu, no pri systéme „Grid-off“ sa musí prebytočná energia uskladňovať v batériovom úložisku dostatočnej kapacity. [14, 15]

1.3.1 Vertikálna os otáčania

U veterných elektrární s vertikálnou osou otáčania môžeme vyčleniť dva špecificky najčastejšie používané koncepty.

SAVONIOVA TURBÍNA (*odporový rotor*)

Turbína využíva rozdielny koeficient odporu prúdu média, pôsobiaceho na vydutú a vypuklú plochu. Rotor bežnej Savoniovej turbíny je tvorený dvojicou či trojicou lopatiek polkruhovitého alebo ladvinkovitého tvaru. Vnútorne okraje lopatiek zasahujú až za stred rotora, a tak umožňujú prietok média medzi ich zadnými stranami. Os otáčania je kolmá na smer prúdenia. Savoniova turbína má malú účinnosť. Je však pomerne jednoduchá na výrobu. Pokiaľ je Savoniova turbína postavená so zvislou osou, pracuje nezávisle na smere vetra. Nevýhodou dvojlopatkovej Savoniovej turbíny je existencia mŕtveho uhlu. To sa dá vyriešiť spojením niekoľkých rotorov s rôzne natočenými lopatkami, alebo špirálovitým tvarom lopatiek. [16]



obr. 1-9 Špirálovitý dizajn veternej turbíny WINDSIDE WS-4B. [18]

Veterná turbína WINDSIDE

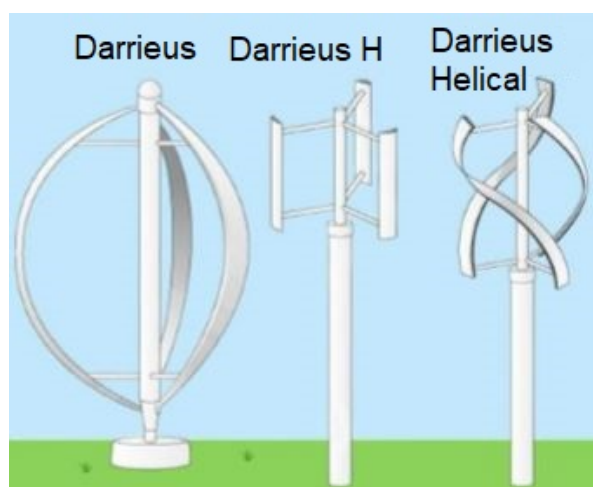
Vertikální větrná turbína *WINDSIDE* byla vyvinutá, aby vydržela pracovat i v extrémních podmínkách. Má dlouhou životnost, účinnost, odolnost a minimální potřebu údržby. Využívá Savoniovu turbínu, která je tvořená dvěma špičatými lopatkami, které zabezpečují plynulý průběh kroutícího momentu. Turbína *Windside* je určena na nabíjení baterií nebo čerpaní vody a zvyčajne sa nepoužíva na pripojenie do verejnej elektrickej siete. Ďalším zaujímavým využitím je použiť turbínu v pouličnej reklame, pretože poskytuje dostatočnú plochu na samotnú reklamu a sama si môže vyrábať osvetlenie.[17, 18]

tab. 3 Technické špecifikácie *WINDSIDE WS-4B*. [18]

Hmotnosť turbíny	800kg
Výška turbíny	4m
Rozbehová rýchlosť vetra	2 m/s
Menovitá rýchlosť vetra	15 m/s
Max. rýchlosť vetra	neobmedzená
Výkon pri rýchlosti 10m/s	400 W
Hlučnosť	<5dB

DARRIEUSOVA TURBÍNA (vztlakový rotor)

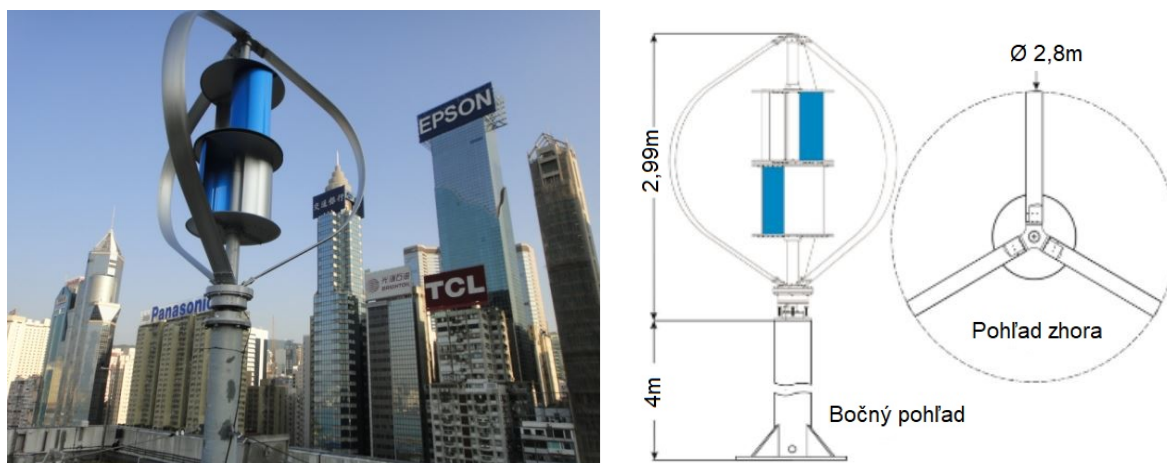
Druhým typom sú rotory pracujúce na vztlakovom princípe, ktoré sú účinnejšie, a preto v súčasnosti viac používané. Os rotora je vertikálna. Podstatou je vznik aerodynamickej vztlakovej sily na liste rotora. Táto sila je vyvodzovaná vďaka špeciálne tvarovanému profilu lopatiek, podobne ako je tomu u krídel lietadla. Prvá vertikálna turbína tohto typu bola patentovaná francúzskym inžinierom Darrieusom. Veľkou výhodou je, že takéto zariadenia môžu pracovať bez ohľadu na smer vetra. Rotor má veľmi špecifický tvar, pripomínajúci vajce. Možnosti tvarov sú ale rôzne, napr. v tvare písmena H a trojuholníkové usporiadanie. Zaujímavosťou je, že tieto zariadenia zväčša vyžadujú malý generátor k naštartovaniu rotácie. V súčasnej dobe sa dostáva do popredia vylepšená verzia tejto koncepcie „*Helica*“ veterný motor. [15]



obr. 1-10 Typy Darrieusových rotorov. [15]

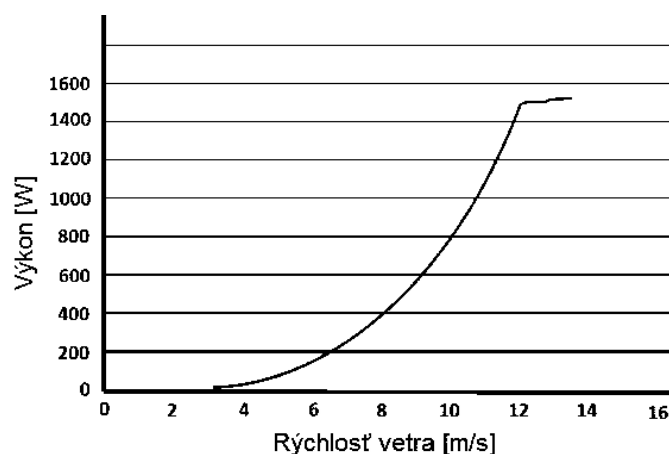
Veterná turbína HI-VAWT

Spoločnosť Hi-VAWT vynáša ideálne riešenie ako prekonať nedostatky Darrieusovho a Savoniovho rotora, tým že ich skombinovala do jednej turbíny, vďaka čomu sa nedostatky eliminovali. Teda zlý samostatný rozbeh Darrieusovho rotora kompenzuje Savoniov rotor umiestnený v strede turbíny, vďaka ktorému môže turbína pracovať aj pri slabom vetre. Naopak nízka účinnosť Savoniovho rotora sa nahradí vysokou Darrieusovho rotora. [17]



obr. 1-11 Dizajn a rozmery veternej turbíny DS-1500W, ktorá je inštalovaná v Hong-Kongu. [17]

Pre typ DS-1500 je výška ku šírke rotora 2,99 x 2,8 m, hmotnosť rotora je 380 kg, počet lopatiek Darrieusovho rotora je 3 a počet Savoniových rotorov je 2. Materiál využívaný pri konštrukcii lopatiek je anodizovaný hliník a materiál rotora je pozinkovaná oceľ SS400. Minimálna pracovná rýchlosť vetra je 3 m/s a maximálna pracovná rýchlosť vetra je 15 m/s. Menovitý výkon je 1500 W pri rýchlosti vetra 12 m/s. Typ generátora, ktorý využíva je AC, trojfázový synchronný PMG generátor. Brzdový systém je automatický a aj manuálny (mechanická bubnová brzda). Teplota, pri ktorej dokáže pracovať je v rozmedzí od -10°C do +40°C. Maximálna prípustná vlhkosť prostredia, pri ktorej dokáže pracovať je 95% [17]



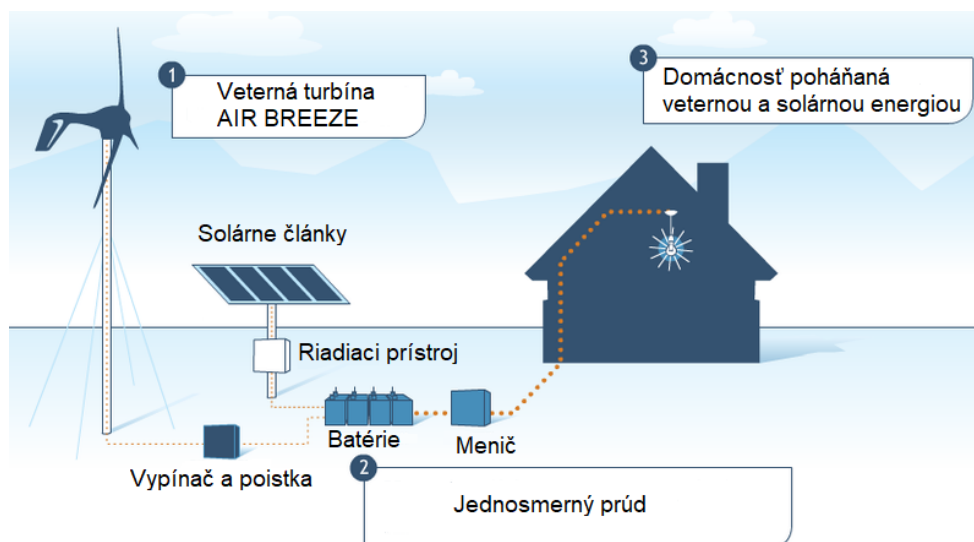
obr. 1-12 Výkonová krivka veternej turbíny DS-1500W. [17]

1.3.2 Horizontálna os otáčania

Malé veterné elektrárne s horizontálnou osou otáčania patria k najviac používaným malým veterným elektrárnám. Na rozdiel od veľkých veterných elektrární je ich konštrukcia podstatne jednoduchšia a objavuje sa tu širšie spektrum používaných riešení. Ich princíp fungovania a súčasti sú podobné ako pri veľkých elektrárnach (*podkapitola 1.2.1*), preto sa im nebudeme venovať.

Veterná turbína AIR BREEZE

Veterná turbína *AIR BREEZE* je tichá, výkonná a precízne skonštruovaná na prevod energie aj pri nízkej rýchlosti vetra než akákoľvek iná vo svojej triede. Je to ďalšia generácia malých veterných elektrární - a zároveň aj jedna z najobľúbenejších. Je navrhnutá pre jednoduché umiestnenie a inštaláciu aj bežným užívateľom. Air Breeze nabíja batérie a vyprodukuje až 38kWh mesačne pri priemernej rýchlosti vetra 6 m/s. Ideálnou kombináciou je však použitie veternej turbíny spolu so solárnymi panelmi na zabezpečenie pravidelnej dodávky energie za každého počasia. [19]



obr. 1-13 Kombinácia veternej turbíny AIR BREEZE so solárnymi článkami. [19]

Čo obsahuje Air Breeze a jeho technické parametre:

Mikroprocesorom riadený interný regulátor s monitorovaním najvyššieho výkonu znamená zvýšenú efektívnosť, optimalizovaný energetický výkon, zlepšené nabíjanie akumulátorov. Tri kompozitné lopatky prinesú zvýšenú spoľahlivosť a životnosť, ako aj zníženú hlučnosť. Neodymiový alternátor znamená väčšie využitie dodávok energie bez potrebnej obsluhy a taktiež obsahuje iba dve pohyblivé časti, ktoré sú zárukou spoľahlivosti a nenáročnosti na údržbu. Priemer vrtule je 1,17 m a hmotnosť turbíny je 5,9 kg. Menovitý výkon zariadenia je 200W pri rýchlosti vetra 12,5 m/s. [19]

2 BUDÚCNOSŤ VETERNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Táto kapitola bude venovaná opisu veľkých veterných elektrární, ktoré boli publikované, ale reálne sa vo svete zatiaľ nevyužívajú. Vybral som štyri navrhnuté veterné elektrárne, ktoré by mohli v budúcnosti nahradiť produkciu elektriny dnešných vertikálnych trojlístých veterných elektrární.

2.1 Solar Wind Downdraft Tower

Veža *Solar Wind Downdraft Tower* bola prvá hybridná technológia obnoviteľnej energie zo slnka a vetra na trhu v roku 2014. Patentová štruktúra sa skladá z vysokého dutého valca so systémom vstrekovania vody v blízkosti vrchnej časti valca a veterných tunelov obsahujúcich turbíny v blízkosti dna. Táto technológia kombinuje suchý vzduch, ohrievaný slnečnými lúčmi slnka, s H_2O , ktorý pôsobí ako silný katalyzátor na vytvorenie silného prírodného vetra. Tento vietor prechádza turbínami vo veži pri vysokých rýchlostiach. Následne tieto turbíny poháňajú generátory, kde sa kinetická energia vetra mení na elektrickú energiu. [20]




obr. 2-1 Model hybridnej technológie
SOLAR-WIND Tower. [20]

2.1.1 Princíp fungovania veže

Séria čerpadiel dodáva vodu do vstrekovacieho systému, ktorá sa dostáva až ku vrcholu veže, kde je cez celý otvor vpúšťaná jemná hmla. Voda zavedená vstrekovacím systémom sa odparuje a je absorbovaná horúcim suchým vzduchom, ktorý bol zohrievaný pomocou slnečných lúčov slnka (*využitie solárnej energie*).

Výsledkom procesu je, že sa vzduch stáva chladnejším a ťažším ako okolitý teplejší vzduch. Vzniknutý vzduch padá cez valec rýchlosťou do 80 km/h. Následne je vzduch odklonený do veterných tunelov, ktoré obklopujú základňu veže. Na konci tunelov sa nachádzajú veterné turbíny, ktoré sú roztáčané vďaka padajúcemu studenému vzduchu. V generátoroch sa vzniknutá kinetická energia premieňa na energiu elektrickú. [20]

V geografických oblastiach, kde sú atmosférické podmienky priaznivé, môžu byť na exteriéri veže postavené veterné turbíny s vertikálnou osou otáčania, ktoré budú zachytávať energiu vetra na výrobu doplnkovej elektrickej energie. Tento duálny prístup výrazne zvyšuje čistú energetickú kapacitu a produktivitu veže. [20]



Typ farmy	Veterná	Solárna	Hybridná
Rozloha	18 000 akrov	8 500 akrov	640 akrov
Výrobná cena	\$4 miliardy	\$4,2 miliardy	\$1,5 miliardy
Životnosť	20 rokov	25 rokov	50 rokov
Vyžaduje menič	Áno	Áno	Nie
Štátna dotácia	Áno	Áno	Nie
Výroba energie 24/7	Nie	Nie	Áno
Predvídateľný výkon	Nie	Nie	Áno
Predvídateľný max. dopyt	Nie	Áno	Áno
Dane/emisné povolenia	Áno	Áno	Áno

obr. 2-2 Porovnanie solárnej, veternej a hybridnej farmy pri ročnej výrobe 5 000 GWh. [20]

2.1.2 Ekonomika

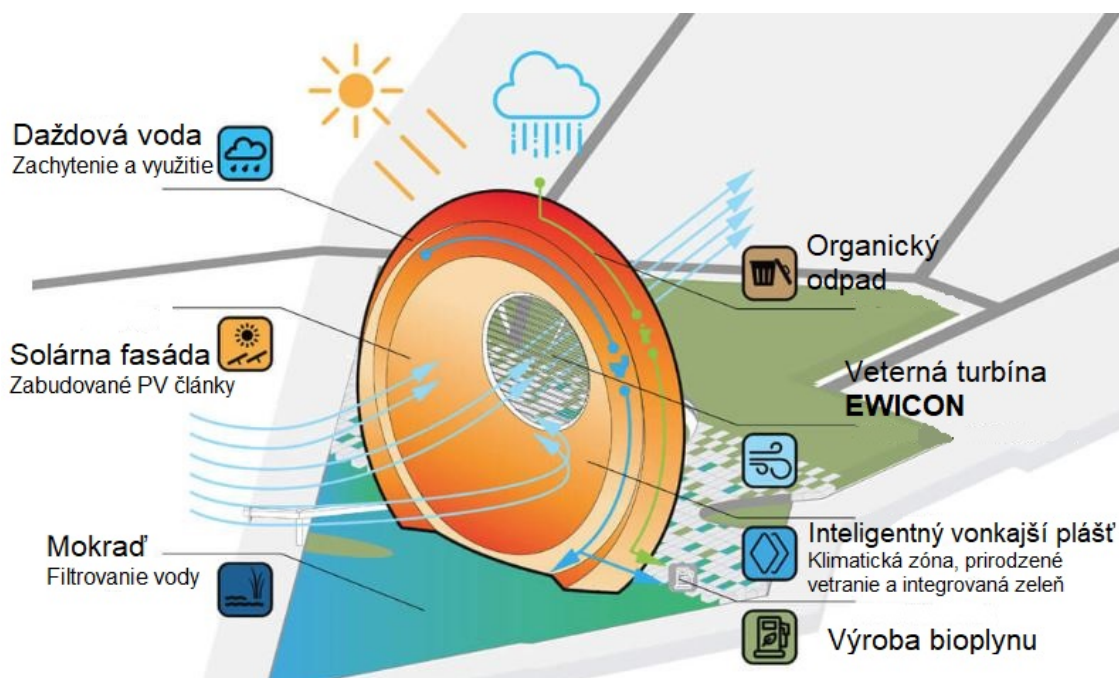
Vďaka dôslednej inovácii sa spoločnosti úspešne podarilo hospodáriť s vežou, čím sa znížili kapitálové náklady a zároveň sa zvýšila predpokladaná finančná výnosnosť. Tento vývoj bol umožnený využitím softvéru *Global Energy Generation Calculator*, ktorý umožňuje vypočítať a predpovedať výrobu energie veže vzhľadom ku zvolenej polohe a nameraných údajov o počasí na týchto miestach. Informácie o počasí z lokality určenej pre stavbu veže vložíme do programu, vďaka ktorému je možné získať optimálnu výšku a priemer veže spolu s množstvom vody potrebnej ako palivo na vytvorenie požadovaného množstva energie. Podľa najnovších informácií, by mala byť prvá veža postavená v blízkosti San Luis, Arizona s priemerným hodinovým výkonom 435 MWh/hod. [20]

2.2 Dutch WindWheel

Veterné koleso sa javí ako veterná turbína, pozostávajúca z dvoch trojrozmerných kruhov so svetlou, oceľovou a sklenenou konštrukciou. Kruhy alebo kolesá, ktoré sú navinuté okolo seba spájajúc sa vo vrchnej časti konštrukcie, sú navrhnuté na základe princípu triangulácie, aby sa dosiahla štrukturálna stabilita. Podvodná základňa poskytuje ilúziu plávajúceho kolesa. Celá konštrukcia bude vysoká 174 m. [21]

Navrhovaná poloha holandského "veterného kolesa" je medzinárodný prístav mesta Rotterdam. Táto stavba bude príkladom rýchleho pokroku v oblasti obnoviteľnej energie a ekonomiky. Veterné koleso sa stane dynamickou prezentáciou holandského

dizajnu a bude poskytovať nepretržitú platformu na demonštráciu technických a technologických inovácií. Táto budova bude kruhového tvaru a "poháňaná" veternou turbínou EWICON, ktorá bude výsledkom moderných technologických riešení. Turbína bude premieňať kinetickú energiu vetra priamo na energiu elektrickú bez použitia otáčajúceho sa rotora. Okrem tohto hlavného zdroja energie bude budova produkovať energiu zo slnka. [22]



obr. 2-3 princíp fungovania holandského veterného kolesa. [22]

2.2.1 Princíp fungovania veternej turbíny EWICON

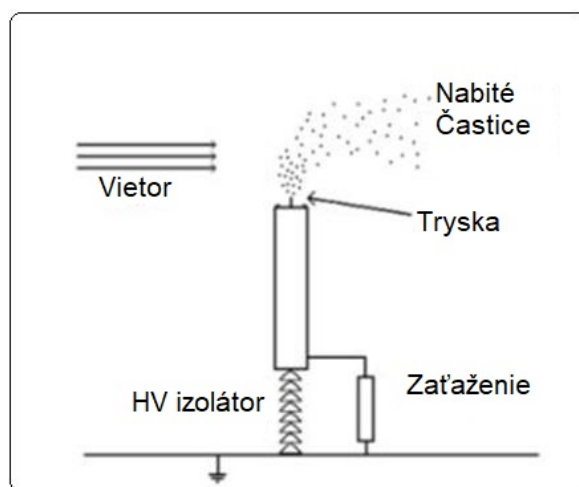
Veterná energia je jedným z trvalo udržateľnejších zdrojov energie. Jej jedinou chybou sú rotujúce lopatky konvenčných veterných turbín, ktoré vyžadujú pravidelnú údržbu a priťahujú kritiku milovníkov vtákov. To by mohlo vysvetliť, prečo môžeme vidieť vo svete rôzne prototypy veterných turbín, ktoré uzatvárajú lopatky v komore alebo ich nahrádzajú systémom podobným disku. Výskumníci v Holandsku sa však rozhodli úplne vylúčiť potrebu mechanickej súčiastky a vytvorili bezlopatkovú veternú turbínu EWICON bez pohyblivých častí, ktorá vyrába elektrickú energiu s použitím nabitých vodných kvapiek. Súčasná konštrukcia sa skladá z oceleového rámu, ktorý drží rad izolovaných trubiek usporiadaných vodorovne. Každá trubica obsahuje elektródy a trysky, ktoré nepretržite uvoľňujú pozitívne nabité častice vody do vzduchu. Keď sú častice odfúknuté, napätie zariadenia sa mení a vytvára elektrické pole, ktoré možno preniesť do siete na každodenné použitie. [23]

Umožnenie vetra nútiť cestovať nabité častice proti smeru elektrického poľa zvyšuje potenciálnu energiu týchto nabitých častíc. Nabité častice sa potom môžu zhromažďovať v nabíjacom systéme, ktorý je izolovaný od zeme. Pretože nabíjací systém začína s elektricky neutrálnym nábojom, rozptýlené nabité častice spôsobujú vzostup jeho potenciálu. Zem v podstate funguje ako kolektor pre nabité častice v systéme EWICON. [24]

Samotný systém je izolovaný od zeme a rozptýlenie nabitých častíc zvýši potenciál systému. Teoreticky by nabité častice mohli byť čokoľvek, čo by mohlo mať elektrický náboj. Kvapky vody sa však ukázali ako najpraktickejší spôsob rozptýlenia prúdov nabitých častíc. Je tu však limit množstva náboja, ktorý môže kvapôčka zadržať predtým, než sa rozpadne na menšie kvapky, a tento náboj závisí od prirodzeného povrchového napätia kvapaliny. Výpar je tiež problémom, pretože nabité kvapôčky musia prežiť, kým sa nedostanú na zem. Človek si kladie otázku, koľko vody by bolo v tejto schéme potrebné na vytvorenie zmysluplného množstva energie. Tu je návod, ako výskumníci pristupovali k tomuto problému:

Vypočítali teoretickú prácu vetra vykonanú na kvapke, ktorá je približne $1,13 \cdot 10^{-8}$ [J]. Za predpokladu, že rozprašovacia dýza rozptyľuje približne 10^7 kvapiek za sekundu, tak potom jedna tryska vytvára prúd o výkone 113 [mW]. Sústava týchto trysiek $[30 \times 30]$ by produkovala približne 102 W. Za predpokladu, že kvapky vody s priemerom $5 \mu\text{m}$ sú nabité na 70% maximálneho teoretického náboja (dané Rayleighovým limitom), potom prúd pretekajúci cez každú dýzu je rovný $4,7 \mu\text{A}$. To by znamenalo výstupný výkon približne 0,5 W do elektrického zaťaženia 20 GΩ. Podrobnejší opis fungovania systému EWICON nájdete v doktorandskej práci od DJAIRAM Dhiradj uvedený v zdrojoch. [24]

Energetický výkon by bol závislý nielen od rýchlosti vetra, ale aj od počtu kvapiek, množstva náboja umiestneného na kvapôčkach a od sily elektrického poľa. Výroba energie EWICON je v tomto momente príliš nízka. Výskumníci veria, že tento proces bude finančne konkurencieschopný s tradičnými technológiami veternej energie za dva až štyri roky. [25]



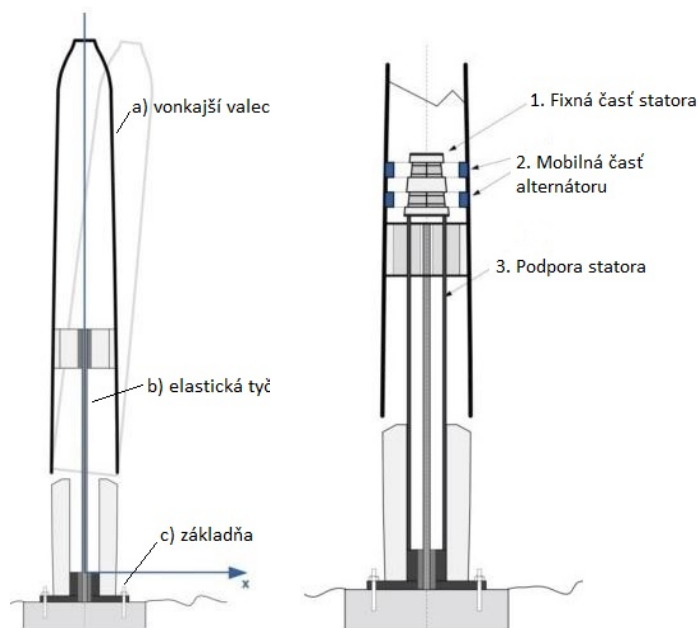
obr. 2-4 Princíp fungovania systému EWICON. [24]

2.3 Vortex Bladeless

Vortex Bladeless je vetrom indukovaný vibračný, rezonančný generátor. Využíva veternú energiu z fenoménu vírenia zvaného "Vortex Shedding", čo v preklade znamená uvoľňovanie víru. Technológia pozostáva z bezlopatkového valca (obr.2-5a) upevneného vertikálne elastickou tyčou (obr.2-5b) ku základni (obr.2-5c). Valec, ktorý osciluje vplyvom vetra, generuje elektrinu cez alternátorový systém. Inými slovami, ide o veternú turbínu, ktorá nie je vlastne ani turbína. Vírové veterné generátory sa svojimi vlastnosťami a nákladmi na výrobu približujú skôr solárnym panelom ako veterným turbínam. [26]

2.3.1 Štruktúra a geometria

Vonkajší valec je navrhnutý tak, aby bol do značnej miery tuhý a schopný vibrovať a pritom zostať ukotvený na spodnej elastickej tyči. Vrch valca má maximálnu amplitúdu kmitania. Konštrukcia je zložená zo sklenených vlákien alebo živíc, ktoré sú vystužené uhlíkom. Tieto materiály sa používajú v bežných lopatkách veterných turbín. Vrch tyče drží stožiar a spodok je pevne ukotvený k zemi. Táto tyč je vyrobená z polyméru vystuženého uhlíkovými vláknami, ktorý poskytuje veľkú odolnosť proti únave a má minimálny únik energie pri oscilácii. Konštrukcia takejto veternej turbíny je úplne odlišná od tradičnej turbíny. Namiesto bežného stožiaru, gondoly a lopatiek má tento prístroj len stožiar zložený z ľahkých materiálov, ktorý je umiestnený nad základňou. To znižuje náklady a potrebu hlbšieho základu. [26]



obr. 2-5 Komponenty veternej turbíny typu Vortex Bladeless. [26]

2.3.2 Funkcia a náklady

Inžinieri sa pri navrhovaní budov a konštrukcií snažia eliminovať vibračné sily, no Vortex turbína využíva práve tento jav oscilácie vo vetre. Typická konštrukcia sa rozkmitá len pri určitých frekvenciách vyvolaných určitou rýchlosťou vetra, ale Vortex tvrdí, že pomocou magnetov dokáže prestaviť turbíny aj počas prevádzky tak, aby využili čo najviac z energie vetra. Keď konštrukcia začne vibrovať, alternátor v základni zariadenia konvertuje mechanický pohyb na elektrinu. [26]

Náklady na výrobu elektriny sú o 40% nižšie ako u klasických veterných turbín. Veľká časť tohto zníženia nákladov pochádza z údržby, pretože Vortex nemá pohyblivé rotačné diely alebo prevody. To znižuje servisné intervaly a nevyžaduje pravidelné mazanie. Okrem toho sú výrobné náklady novej turbíny v porovnaní s klasickou len polovičné, lebo nie je potrebné vyrábať drahé, masívne lopatky. Druhou stranou mince je však o 30% nižšia účinnosť v porovnaní s tradičnými veternými turbínami. [27]

2.4 TYER-WIND

TYER-WIND je nový koncept veternej turbíny, ktorý využíva zmenu paradigmy vertikálnej osy. Namiesto lopatiek je vybavený mávajúcimi krídlami, ktoré premieňajú kinetickú energiu vetra na zelenú elektrinu na základe 3D kinematiky s názvom „Aouinian“. [28]



obr. 2-6 koncept farmy obsahujúci turbíny TYER Wind. [28]

2.4.1 Princíp fungovania

3D kinematika Aouinian predstavuje významnú revolúciu v oblasti mechaniky. Umožňuje premenu lineárneho pohybu na rotačný (piestový) a je schopný napodobňovať kinematiku zvierat vrátane kolibríka veľmi účinným a „prirodzeným“ spôsobom. Má široký rozsah strategických aplikácií vrátane veternej energie, spaľovacích motorov, čerpadiel, lodného pohonu a mnohých ďalších. Vertikálny konvertor veternej energie TYER využíva veternú energiu vďaka krídlam, ktoré dokonale napodobňujú pohyb jedného z energeticky najúčinnějších vtákov - kolibríka. Turbína bude zložená z dvoch krídiel, z ktorých každé bude mať dĺžku 1,6 m a budú vyrobené z uhlíkových vlákien. Technológia TYER, ktorú vyvinula spoločnosť Anis Aouini, je inšpirovaná prírodou a ukázala sa ako efektívna a ekologická. Žiadne rotujúce lopatky, len mávanie krídlami, ktoré premieňajú veternú energiu na zelenú elektrinu vďaka svojej revolučnej kinematike. Turbína Tyer Wind je stále vo fáze testovania. Výskumníci stále zhromažďujú informácie o aerodynamickom správaní, energetickej účinnosti, namáhaní stožiara a veľa ďalších. Skutočný výkon, cenu a dátum vydania turbíny stále nepoznáme. [28]

tab. 4 Parametre konceptu turbíny TYER Wind. [28]

Menovitý výkon	1 [kW]
Typ	Dve krídla s vertikálnou osou
Generátor	Permanentný magnet
Využitá plocha	3,56 [m ²]
Dĺžka krídla	1,6 [m]
Rozmery stožiara	145x75x55 [cm]
Horný/dolný uhol záberu krídla	+40°/-40°
Doporučená rýchlosť vetra	10 [m/s]
Štartovacia rýchlosť vetra	3,8 [m/s]

3 VETERNÉ ČERPADLÁ

O tom, že vetrom hnané čerpadlá nie sú zďaleka len slepou vývojovou uličkou pri hľadaní práce pre vietor, svedčí aj ich súčasná podoba a možnosti využitia. Veterné čerpadlá môžu slúžiť ku čerpaniu pitnej alebo úžitkovej vody pre rodinné domy, chaty, záhrady, na stavbách, k napájaniu závlah alebo bazénov. Ďalej ich využívame ku cirkulácii vody spojené s jej okysličovaním v rybníkoch, bazénoch alebo chovných zariadeniach pre ryby. K dispozícii sú aj iné možnosti využitia veterných čerpadiel a to napríklad odčerpávanie vody zo zamokreného okolia stavieb vďaka čomu sa zníži hladina spodnej vody. [29]

Veterné čerpadlá potrebujú ku pohonu len “prírodné palivo” vietor, ktorý je nevyčerpatelný a “zadarmo”. Aby bezproblémovo fungovali vyžadujú len ojedinelú údržbu pričom dokážu vydržať približne rovnako dlho ako veterné elektrárne a to okolo 20 rokov a viac. Náklady na financovanie veterného čerpadla sú veľmi nízke v porovnaní s akýmkoľvek iným čerpacím systémom. Za predpokladu, že miestne veterné podmienky sú prietivé, veterné čerpadlo bude vždy čerpať vodu lacnejšie a s menšou poruchovosťou ako iné motory, ktoré by boli poháňané ropou. V prípade nepriaznivých poveternostných podmienok sa stožiar veterného čerpadla môže umiestniť aj mimo vodného zdroja a to na miesto s výhodnejšími poveternostnými podmienkami. Dôležitou súčasťou systému je akumulčná nádrž-vodojem, ktorá zabezpečuje dodávku vody v čase bezvetria a tiež jej vyvýšené umiestnenie umožňuje dodávku vody do určených miest samospádom. [29]

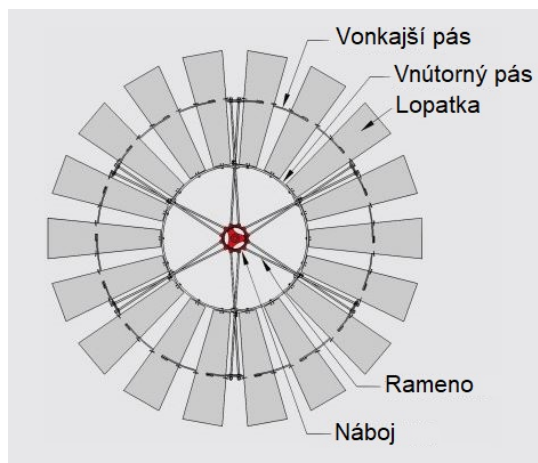
3.1 Mechanizmus a jeho časti

Veterné čerpadlá sú svojim princípom veľmi jednoduché zariadenia a využívajú podobný mechanizmus ako veterné elektrárne. Najpoužívanější mechanizmus pre čerpanie vody pomocou energie vetra je výhradne mechanický. Kinetická energia vetra sa mení na mechanickú energiu alebo potenciálnu energiu kvapaliny. Podobne, ako u veternej elektrárne sú hlavné časti mechanizmu rotor a prevodovka. Čerpadlá sa od elektrární líšia v poslednej časti mechanizmu. Namiesto toho, aby premieňali mechanickú energiu na elektrickú pomocou generátora, využívajú túto mechanickú energiu rotora ku čerpaniu vody pomocou piestového čerpadla.

3.1.1 Rotor (veterné koleso)

Rotor veterného čerpadla je zložený najčastejšie z dvoch oceľových pásov spojených s nábojom pomocou ramien rotora. Na pásy sú namontované zakrivené lopatky tak, aby boli v správnom uhle a polohe pri zachytávaní sily vetra. Oceľové pásy taktiež poskytujú celému rotoru stabilitu a pevnosť počas silného prúdenia vetra. Väčšina veterných čerpadiel používa viaclopatkový veterný rotor, ktorý obsahuje 15 až 40 pozinkovaných oceľových lopatiek. V porovnaní s veternými elektrárnami majú približne 5x viac lopatiek. Prevádzkové otáčky sú vyššie ako u veterných elektrární. Široké lopatky na veterných čerpadlách sú navrhnuté tak, aby sa rotor mohol otáčať aj pri nízkych rýchlostiach vetra. Minimálna potrebná rýchlosť vetra k roztočeniu veterného čerpadla závisí od výrobcu, no väčšinou je to v rozmedzí 2 až 3 m/s, pričom minimálna potrebná rýchlosť vetra pre roztočenie veterných elektrární je v rozmedzí

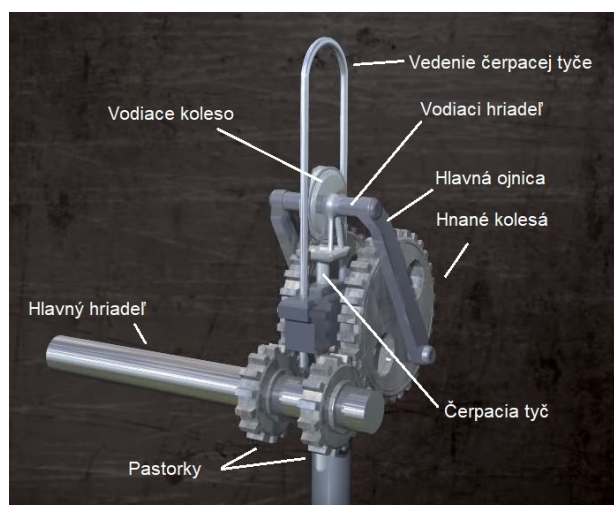
6 až 8 m/s. Otáčanie lopatiek spôsobuje pretlak na prednej strane lopatiek a oblasť nízkeho tlaku za lopatkami. Tento rozdiel tlakov pôsobí silou na lopatky a zapríčiňuje ich otáčanie. Je spôsobený prechádzaním vetra otvormi medzi jednotlivými lopatkami. [30, 31]



obr. 3-1 Časti rotora veterného čerpadla. [30]

3.1.2 Prevodovka

Náboj v strede veterného kolesa je napojený na hlavný hriadeľ. Vďaka otáčkam veterného kolesa sa začne otáčať aj hriadeľ umiestnený na ložiskách, ktorý prenáša kinetickú energiu rotora na prevodovku. V časti, kde sa nachádza prevodovka, sú na hriadeľ namontované dve hnacie ozubené kolesá nazývané pastorky. Pastorky poháňajú hnané ozubené koleso, ktoré sa otáča opačným smerom. Toto hnané koleso pôsobí na vodiace koleso pomocou hlavnej ojnice. Ojnica je napojená na vodiace koleso pomocou vodiaceho hriadeľa. Vodiace koleso, na ktoré je pripojená čerpacia tyč, sa pohybuje smerom hore a dolu po vedení čerpacej tyče. Vďaka takejto konštrukcii prevodovky sa nám mení rotačný pohyb na priamočiary vratný pohyb. (Veľmi podobná konštrukcia ako kľukový hriadeľ, ojnica a piest motora automobilu.)



obr. 3-2 Konštrukcia prevodovky veterného čerpadla v dolnej pozícii využívajúca dve sady ozubených kôl a ojnic. [38]

Špeciálnou súčasťou prevodovky je mazací krúžok. Mazací krúžok je jedným z mnohých špeciálnych zariadení používaných k mazaniu rôznych častí. V tomto prípade je olej privádzaný z vonkajšej strany hnaných ozubených kôl až k vodiacemu kolesu a hriadeľu. [30]

Aby bol dokončený jeden cyklus priamočiareho vratného pohybu, musí sa rotor veterných čerpadiel otočiť približne 2 až 3 krát. To znamená, že využívajú určitý prevodový pomer do pomala, vďaka ktorému sa zvyšuje ich účinnosť. Niektoré veterné čerpadlá využívajú dve sady ozubených kôl a hlavných ojníc. Vďaka tomuto rozdeleniu pripadá na každý pastorok a ojnici len polovica celkovej záťaže. Tým pádom sa predlžuje životnosť a zvyšuje efektívnosť čerpaceho mechanizmu. [31]

Poloha hnaného kolesa voči ojnici má dva druhy zdvihu, a to dlhý a krátky. Poloha hnaného kolesa a ojnice na obr.3-2 umožňuje dlhý zdvih, ktorý je bežnejší a používa sa pri normálnych veterných podmienkach. Pokiaľ sa ojnica umiestni do spodnej sady otvorov na jej hornej časti, potom bude čerpadlo pracovať s krátkych zdvihom. Tento zdvih sa využíva na čerpanie vody pri nízkych rýchlostiach vetra. [31]

3.1.3 Čerpací systém (piestové čerpadlo)

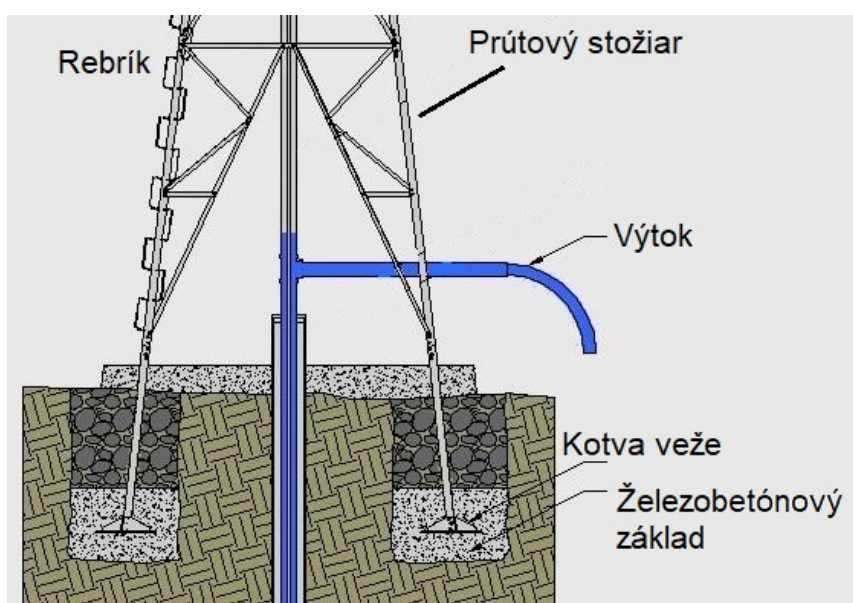
Čerpacia tyč, ktorá prechádza cez valcové výtláčne potrubie, je napojená pod vodnou hladinou na piest, ktorý je utesnený do valcového potrubia. Tesnenie výtláčneho potrubia je vybavené vložkou, ktorá je najčastejšie vyrobená z nerezovej ocele s lešteným vnútorným povrchom, ktorá sa vkladá do puzdra z pozinkovanej ocele. Dnešné moderné tesnenia sú vyrobené z polyuretánu alebo polyetylénu. Tento materiál znižuje zaťaženie prevodovky a ložísiak a umožňuje veternému čerpadlu pracovať pri nižších rýchlostiach vetra, čerpať vodu v rýchlejšom tempe a taktiež predlžuje životnosť tesnenia až o 100 %. [31]

Piest čerpadla je jednoduchý a obsahuje dva spätné ventily, pričom spodný ventil je zafixovaný ku filtru (cedidlu). Jednosmerné spätné ventily umožňujú kvapaline prechádzať len jedným smerom. V priepustnom smere je pre nich typický malý odpor pre prúdiacu kvapalinu. U piestových čerpadiel sa používajú jednosmerné pretekajúce uzavieracie súčiastky, v našom prípade teda dva spätné ventily. Sú vhodné pre vysoké hodnoty tlakov a môžu byť použité pre čerpanie znečistených kvapalín. Sú vyrobené z kvalitných materiálov, ako je chróm-niklová oceľ alebo bronz. [30]

Tvar ventilov závisí na požadovaných pracovných podmienkach. Najčastejšie sa používajú ventily s tanierovou pružinou, ktoré majú lepšie dynamické vlastnosti. Tanierové ventily sú vhodné pre väčšie prietoky kvapalín. Fungujú s diskom namontovaným na pružine. Tlak na vstupe vyvolaný klesajúcim piestom otvorí disk tým, že natiahne pružinu. V momente keď sa piest dostane do dolnej polohy, tlak povolí a pružina sa stlačí, čo má za následok, že sa disk dostane do uzavretej polohy. Pre čerpanie kvapalín s pevnými prímiesami sú vhodné ventily guľové využívané u menších čerpadiel. Guľový ventil využíva guľičku, plávajúcu alebo pripevnenú k pružine, ktorá zakrýva kruhový otvor. Keď je kvapalina nasiata, guľička je prúdom kvapaliny vytlačená nahor. Keď je kvapalina pohybom piesta zatlačená späť, guľička je pritlačená na kruhový otvor a vytvorí tesnenie v dôsledku čoho je zabránené pretekaniu kvapaliny späť nadol a teda následným zdvihom piestu je vytlačená von. [32]

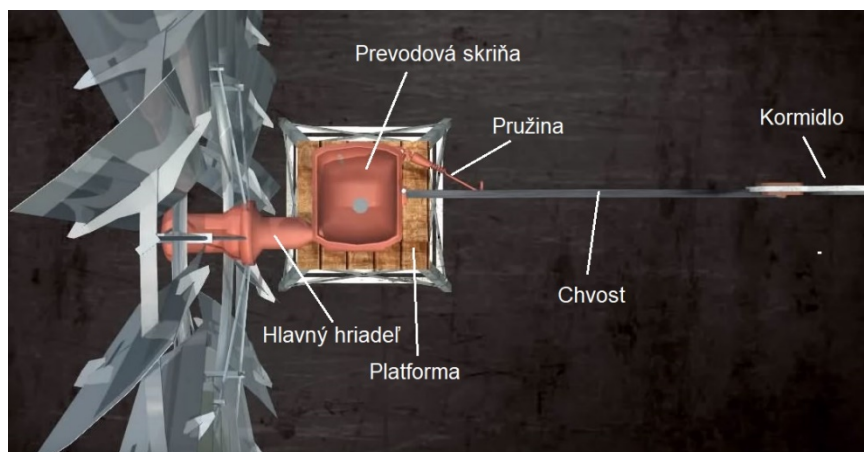
3.1.4 Ostatné časti

Prevodová skriňa je namontovaná na *stožiar* veterného čerpadla, ktorý má podobu priehradkovej (prútovej) konštrukcie. Prevodová skriňa sa môže natáčať okolo stožiaru. Výhodou tejto konštrukcie predstavuje jednoduchá doprava na miesto, kde bude stáť nové veterné čerpadlo. Montáž prebieha až na mieste, podobne ako u stožiarov vysokého napätia. Ďalším faktorom, ktorý predstavuje značnú výhodu je cena. Pre tento typ stožiaru je potrebné asi polovičné množstvo materiálu ako na tubulárnu konštrukciu (využívaná pre veľké veterné elektrárne). Nevýhodou predstavuje vizuálne hľadisko tejto konštrukcie. Vežu veterného čerpadla je potrebné pevne spojiť so zemským povrchom, tak aby toto spojenie odolalo aj extrémnym poveternostným podmienkam. [15]



obr. 3-5 Prútový stožiar ukotvený v železobetónovom základe. [30]

Chvost veterného čerpadla, ktorý je namontovaný na prevodovú skriňu, obsahuje *kormidlo*. Kormidlo je nastavené tak, aby v prípade nepriaznivých veterných podmienok natočilo veterné koleso bokom proti smeru vetra. Táto regulácia spočíva v tom, že hlavný hriadeľ rotora, ktorý je pevne spojený s prevodovou skriňou, neleží v tej istej osi spojenia ako chvost s prevodovou skriňou. Tieto dve časti musia ležať na rozdielnych osiach. Pokiaľ fúka silný vietor, na jednu polovicu kolesa pôsobí väčší moment, ktorý spôsobí vychýlenie kolesa na stranu. Týmto natočením zo smeru vetra sa môže rotor úplne zastaviť. Akonáhle vietor zníži rýchlosť, pružina spájajúca chvost s prevodovou skriňou spôsobí, že sa rotor vráti do pôvodnej polohy. Najvyššia prípustná rýchlosť vetra je 45 m/s, čo podľa Beaufortovej stupnice odpovedá sile orkánu. Ďalšou možnosťou regulácie je brzdivý mechanizmus. Brzda sa nachádza na prevodovej skrini a jej úlohou je zabezpečiť zastavenie rotácie veterného kolesa, ktoré sa dostalo do vysokých nebezpečných otáčok kvôli vysokým rýchlostiam vetra. Taktiež sa využíva pri údržbe alebo oprave veterného čerpadla. [31]



obr. 3-6 Pohľad zhora na konštrukciu veterného chvostu obsahujúca kormidlo. [38]

3.2 Výrobné náklady

Výrobná cena veterného čerpadla závisí na veľa rôznych faktoroch. Za hlavný faktor považujeme výrobcu. Pre túto prácu som si vybral firmu *TURBEX*, ktorá vyrába tri varianty veterných čerpadiel. Hlavná položka, od ktorej sa odvíjajú ceny ďalších položiek je veterné koleso.

Veterné koleso predávajú spoločne s chvostom, na ktorom sa nachádza kormidlo. Výška ceny veterného kolesa je závislá na jeho priemere a zvolenom materiáli. Priemery veterných kolies sú v intervale od 2,2 m až po 5,5 m. Každé z týchto kolies obsahuje 36 alebo 42 lopatiek.

Ďalší produkt, na ktorý napojíme rotor pomocou hlavného hriadeľa je prevodovka. Firma ponúka prevodovky, ktoré musia mať rovnaké označenie ako kupované veterné koleso, z toho plynie, že cena prevodovky je závislá od zvoleného veterného kolesa. Hlavný hriadeľ prevodovky obsahuje náboj, na ktorý napojíme rotor. Prevodovka je uložená do prevodovej skrine, kde sa nachádza ovládací mechanizmus chvosta veterného čerpadla. Na prevodovku je napojený brzdový mechanizmus, ktorý je využívaný k úplnému zastaveniu veterného čerpadla. Prevodové pomery prevodovky sú medzi 1:3.7 a 1:5.1. Prevodová skriňa sa montuje na takzvaný „otočný stôl“, ktorý zabezpečuje natáčanie veterného kolesa.

Celý systém veterného čerpadla musí byť postavený na stožari, ktorý ukotvíme v železobetónovom základe. Cena stožiara sa odvíja od jej výšky, materiálu a na zvolenom type veterného kolesa. Ponúkaný materiál je železo a výška stožiara je 6, 9 a 12 m.

Cena čerpaceho systému sa pohybuje od 880€ do 3640€. Na prevodovku sa musí namontovať čerpacia tyč ku základni, na ktorú sa pomocou spojky namontuje ďalšia čerpacia tyč. Potrubie, ktoré obkolesuje túto tyč a aj samotnú čerpaciu tyč zabezpečí firma *TURBEX*. Jej cena sa odvíja od použitého materiálu, dĺžky a jeho prierezu. Čerpací systém pracuje na princípe piestového čerpadla a jeho súčasti sú podobné ako na obr. 3-4. Výška ceny závisí na výkone čerpadla, na hĺbke hladiny čerpanej vody, zvolenom materiáli, výške stožiara a na výkone veterného kolesa. Bližšie informácie o produktoch nájdete na stránkach firmy *TURBEX*, ktoré sú uvedené v zdrojoch. [33]

tab. 5 Vlastnosti jednotlivých typov veterných čerpadiel firmy TURBEX a výrobné ceny položiek, ktoré obsahuje typ veterného čerpadla TURBEX 3,3 [m]. [33]

Typ	Turbex 3,3 [m]	Turbex 4,6 [m]	Turbex 5,5 [m]
Cena (bez inštalácie)	od 4 248 €	od 6 467€	od 9 447€
Objem výtoku	od 4 do 60 [kl/deň]	od 5,2 do 115 [kl/deň]	od 6 do 165 [kl/deň]
Hĺbka čerpania	do 150 [m]	do 210 [m]	do 250 [m]
Turbex 3,3 [m]			
Položka	Cena [€]	Popis	
Veterné koleso + prevodová skriňa	2 184	Priemer 3,3 [m] + chvost s kormidlom	
Stožiar zo železa (prútový)	1 024	Výška 6 [m]	
Základy (železobetónové)	150	-	
Komplet čerpací systém	1 528	Hĺbka – 60 [m] o výkone 10 [kl/deň]	
Inštalácia	500	-	
Celkom	5 386	-	

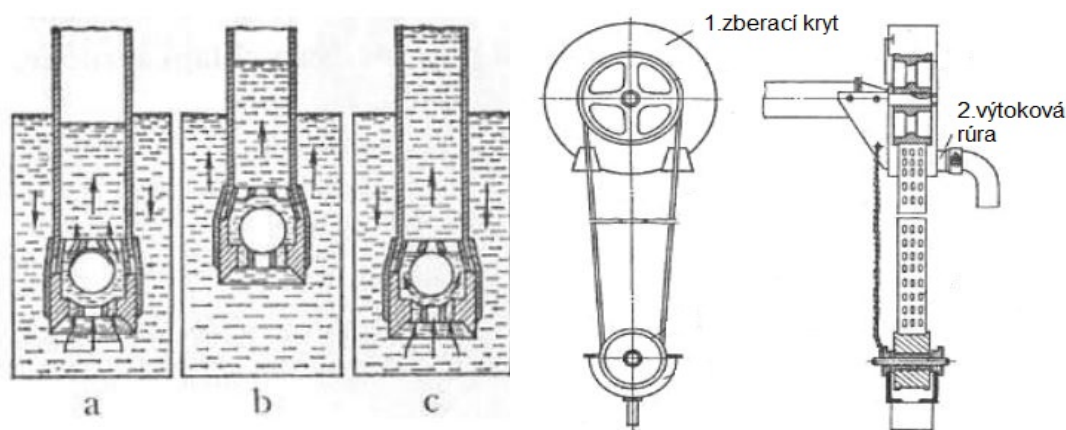
3.3 Špeciálne vlastnosti

Využívajú rôzne typy čerpadiel

Najpoužívanejšie čerpadlo je piestové čerpadlo. Ďalšie používané čerpadlo je odstredivé čerpadlo. Odstredivé čerpadlo dokáže byť efektívne pri zdvíhaní veľkého množstva vody z pomerne malej hĺbky, preto sa využíva hlavne na odvodňovanie. Vhodným rotorom je lopatkové koleso s menším počtom lopatiek. Býva často používané pri veterných čerpadlách s elektrickým pohonom. [17]

Menej známe čerpadlo je inerčné čerpadlo. Princíp jeho fungovania je nasledovný. Za hlavným hriadeľom veternej turbíny je prevod do rýchla a jednoduchý kľukový mechanizmus. Pri pohybe dolu sa guľa vo ventile zdvihne a prepustí dávku vody do rúry (poloha a). Pri pohybe nahor sa ventil uzavrie a stĺpec vody v rúre sa pohybuje smerom hore (poloha b). Pri nasledujúcom chode rúry dolu sa voda zotrvačnosťou pohybuje ešte stále hore a vytvára nad ventilom podtlak. Následkom toho sa guľa opäť zdvihne a prepustí ďalšiu vodu zo zdroja do rúry. Na druhom konci voda voľne vyteká do nádrže. [17]

Posledné využívané čerpadlo je pásové čerpadlo. Pri pásovom čerpadle je voda čerpaná priľnavosťou ku gumenému perforovanému pásu. Odstredivou silou sa odstrekuje o zberací kryt a vyteká rúrou. Čerpadlo môže čerpať až do výšky 30 m. [17]



obr. 3-7 Princíp fungovania inerčného čerpadla naľavo a princíp fungovania pásového čerpadla napravo. [17]

Využívají transformáci na elektrickou energii

Vďaka tomuto princípu môžu byť umiestnené veterné čerpadlá v akejkoľvek vzdialenosti od zdroja vody za účelom zvýšenia dostupnosti veternej energie. Elektrické veterné čerpadlo mení najskôr energiu vetra na elektrickú energiu o jednosmernom nízkom napätí veľkosti 12 V alebo 24 V. Týmto napätím je napájané vodné čerpadlo uložené pod vodnou hladinou. Dodávanie elektriny priamo do záťaže má výhodu v tom, že toto zariadenie nevyžaduje vysoké počiatočné otáčky. Ďalšia výhoda je, že systém elektrického veterného čerpadla môže byť vybavený tlakovým spínačom, ktorý sa využíva ku kontrole alebo k vypnutiu a zapnutiu vodného čerpadla. Potom vodné čerpadlo pracuje len keď to je potrebné. Ďalej je možné vďaka snímačom regulovať rýchlosť čerpania. [31]

Na rozdiel od klasického veterného čerpadla, ktoré pre fungovanie vyžaduje vhodné poveternostné podmienky, elektrické veterné čerpadlo môže využívať batérie k ukladaniu energie a potom čerpať vodu aj počas bezvetria. Na jednu veternú turbínu sa môžu napojiť viaceré vodné čerpadlá a na pohon čerpadla sa môžu napojiť viaceré veterné turbíny v kombinácii so solárnymi panelmi. Medzi nevýhody tohto princípu patria vyššie ceny a väčšia náročnosť na údržbu. Takýto systém sa môže využiť pre čerpanie vody uskladňovanej vo vodojeme v kombinácii so zásobovaním elektrickej energie pre domácnosti znázornení na *obr. 3-9*. [31]

4 VODOJEMY

Zdravotné vodohospodárske stavby predstavujú užšiu špecializovanú kategóriu vodohospodárskych stavieb, ktorých funkcia je vytvorenie a udržanie potrebnej úrovne hygieny prostredia vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. Súvisia so zaistovaním a využívaním vody spôsobom, ktorý nebude v rozpore s jej prioritnými záujmami všestrannej kvalitatívnej a kvantitatívnej ochrany. Zdravotné vodohospodárske stavby sa rozdeľujú na **stavby a zariadenia pre vodárenstvo** a **stavby a zariadenia kanalizácie**. [34]

Vodárenstvo zahŕňa odvetvia ako sú napríklad čerpanie, úprava, doprava a rozvod vody. Kanalizácia zahŕňa odvetvie zachytávania a bezpečného odvádzania rôznych druhov odpadových vôd a odvetvie zamerané na čistenie odpadových vôd.

Vodojemy patria do kategórie stavieb a zariadení pre vodárenstvo. Vodojemy sú nádrže rôzneho tvaru, konštrukcie a umiestnenia, ktoré slúžia ku akumulácii vody, čo je dôležité pre zaistenie:

- **vyrovnávacej funkcie** - vyrovnávanie rozdielov medzi rovnomerným prítokom a nerovnomerným odberom (zásobovací, prerušovaný, prevádzkový vodojem)
- **tlakovej funkcie** - zaistenie potrebného hydrodynamického a hydrostatického tlaku (všetky vodojemy)
- **rezervnej funkcie** - vytvorenie rezervy pre prípady prerušenia dodávky vody alebo porúch (zásobný a prerušovaný vodojem, vodojem pre čistenie vody)
- **protipožiarna funkcia** - zabezpečenie v prípade požiaru (požiarny vodojem)

Z hľadiska vodného zákona pre Českú republiku sú vodojemy klasifikované ako vodné diela. V súčasnej dobe je problematika navrhovania a chodu vodojemov upravená dvoma českými technickými normami, ktoré sú:

ČSN 75 5355 *Vodojemy* (vydaná vo februári roku 2011)

ČSN EN 1508 (75 5356) *Vodárenství – Požadavky na systémy a součásti pro akumulaci vody*.

4.1 Umiestnenie vodojemov voči spotrebiteľovi

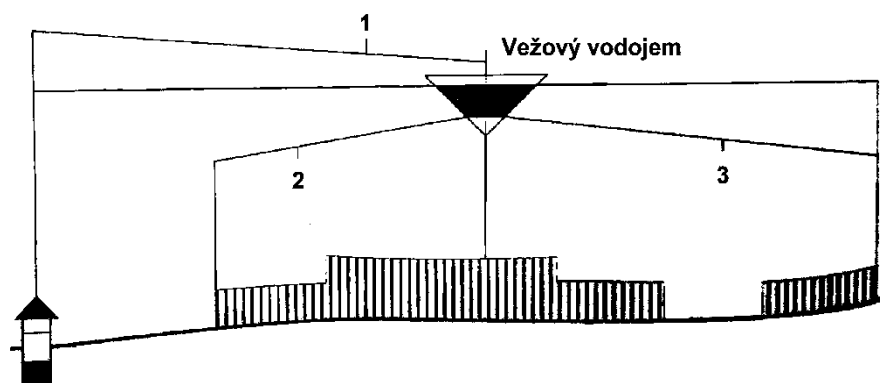
Správne umiestnenie vodojemu závisí na vzájomnej polohe a výškových pomeroch vodného zdroja a spotrebiteľa, rozloženie okolitého zásobovaného územia a poloha hlavných odberateľov v danom území a na konfigurácii daného územia. Výšková poloha vodojemu je závislá na zaistení požadovaných tlakových pomerov vo všetkých miestach zásobovaného územia z hľadiska minimálneho hydrodynamického a maximálneho hydrostatického pretlaku. Poloha vodojemu by mala byť situovaná, čo najbližšie ku zdroju vody a zásobovanému územiu (*najnižšie náklady na čerpanie vody*). Polohu vodojemu ovplyvňujú aj geologické pomery a možnosť napojenia ku elektrorozvodnej sieti. [34]

4.1.1 Vodojem pred spotrebným územím (Čelný)

Tento vodojem je príkladom klasického zásobného vodojemu u výtlačných alebo gravitačných vodovodov. Výhodou umiestnenia vodojemu pred spotrebné územie je, že poznáme prietokové a tlakové pomery. Nevýhody sú, že zásobovanie sa prevádza len z jednej strany a vysoké prevádzkové náklady, ktoré vyplývajú z nutnosti prečerpávať celý objem maximálnej dennej spotreby vody Q_m do vodojemu (len u vodovodu výtlačného, kde sa vodojem plní hlavne pomocou čerpania). Vodojem je znázornený na obr. 4-1. [34]

4.1.2 Vodojem v spotrebnom území

Umiestnenie vodojemu v ťažisku spotrebného územia je najvýhodnejšou možnosťou z hľadiska prevádzkových nákladov. Toto umiestnenie vodojemu sa prevádza výhradne na rovinnom území a jedná sa o vežový vodojem, pretože klasický zemný vodojem sa nemôže použiť. Voda sa do vodojemu môže privádzať buď samostatným výtlačným potrubím, alebo cez rozvodnú sieť. V prvom prípade sa navrhuje samostatný výtlačný rad do vodojemu a samostatný zásobovací rad z vodojemu, na ktorý sa potom napája rozvodná vodovodná sieť. Vodojem funguje ako klasický prietokový akumulčný vodojem. V druhom prípade je navrhnutý len jeden spoločný rad, na ktorý je napojená rozvodná sieť, a plní funkciu privádzacieho (výtlačného) a zásobovacieho radu s rovnakými prevádzkovými režimami ako u koncového vodojemu. [34]



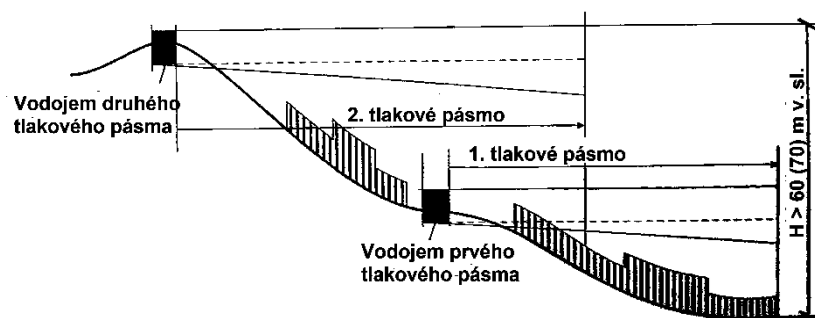
obr. 4-1 Znážornenie vodojemu v spotrebnom území. 1 – čiara energie pri plnení vodojemu, 2 – čiary energie pri zásobovaní z vodojemu. [34]

4.1.3 Vodojem za spotrebným územím (koncový)

Charakteristickým znakom tejto varianty je prevádzkové prepojenie a funkcia hlavných objektov sústavy. Výtlačný rad prechádza spotrebným územím a v úseku od spotrebného územia ku vodojemu plní funkciu zásobovacieho radu a hlavného rozvádzacieho radu, na ktorý je napojená distribučná sieť. Táto možnosť sa využíva v prípadoch, kedy koncová časť spotrebného územia leží vo výrazne vyššej polohe a klasický čelný vodojem by nezaistil minimálny hydrodynamický pretlak. Znážornený na obr. 4-1. [34]

4.1.4 Prerušovaný vodojem (Pásmový)

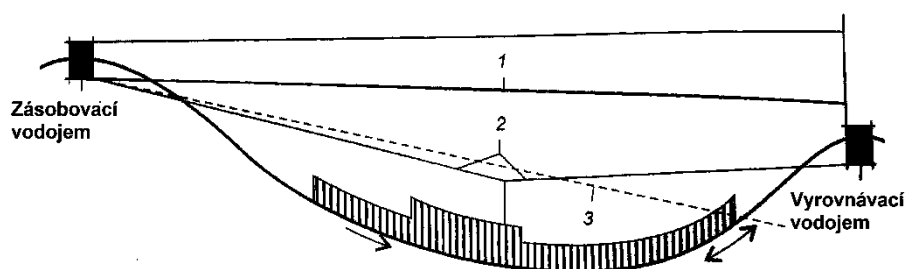
Využíva sa pri veľkom výškovom rozdieli medzi najvyšším a najnižším miestom spotrebného územia, kde by došlo k prekročeniu medznej hodnoty maximálneho hydrostatického tlaku. Postavením prerušovaného vodojemu sa preruší hydrostatický tlak zásobovacieho vodojemu a spotrebné územie sa rozdelí na dve tlakové pásma. [34]



obr. 4-2 Znážornenie pásmového vodojemu. [34]

4.1.5 Vodojem pred aj za spotrebným územím

Tento princíp využíva dva vodojemy. Klasický zásobný vodojem (čelný), ktorý sa nachádza pred spotrebným územím a vodojem vyrovnávací (koncový), ktorý sa nachádza za spotrebným územím. Používa sa v spotrebných územiach s nepriaznivou konfiguráciou terénu a veľkou vzdialenosťou okrajov zástavby, kde by iba jeden zásobný vodojem nezaistil potrebný minimálny hydrodynamický pretlak v odľahlých a výškovo nepriaznivo položených častiach spotrebného územia. [34]



obr. 4-3 Znážornenie čelného (zásobovacieho) a koncového (vyrovnávacieho) vodojemu. 1 – čiara energie pri plnení vyrovnávacieho vodojemu, 2 – čiary energie pri súčasnom zásobovaní oboma vodojemami, 3 – čiara energie pri použití len jedného zásobovacieho vodojemu. [34]

4.2 Konštrukcia vodojemov

Z hľadiska konštrukcie môžeme vodojemy rozdeliť na takzvané zemné a nadzemné vodojemy. V tejto podkapitole sa budeme venovať ich princípu fungovania, tvarovému prevedeniu a vybaveniu.

4.2.1 Zemné vodojemy

Jedná sa o vodojemy, ktorých dno je umiestnené pod úrovňou terénu. Vodojem môže byť zapustený pod úroveň terénu čiastočne alebo úplne. Pri oboch prípadoch je akumulačná nádrž opatrená obsypom a násypom zeminou, ktorá plní funkciu tepelnej izolácie a mechanickej ochrany konštrukcie stien a stropu nádrže. Zemný vodojem je zložený z jednej alebo viacerých *akumulačných nádrží*, ku ktorým je pridružená *manipulačná komora*. Norma vyžaduje konštrukciu minimálne dvoj alebo viackomorových zemných vodojemov, čo má určité výhody z prevádzkového hľadiska (*možnosť odstavenia jednej komory počas údržby alebo opravách*). [34]

tab. 6 Rozdelenie zemných vodojemov podľa objemu. [34]

1 x 15 = 15 m³	2 x 250 = 500 m³
2 x 15 = 30 m³	2 x 400 = 800 m³
2 x 25 = 50 m³	2 x 650 = 1 300 m³
2 x 50 = 100 m³	2 x 1 000 = 2 000 m³
2 x 100 = 200 m³	2 x 1 500 = 3 000 m³
2 x 150 = 300 m³	2 x 2 500 = 5 000 m³

Manipulačná komora je jednoduchý stavebný objekt, ktorý sa rozdeľuje na dve časti. Vstupná časť zaisťuje prístup do vodojemu z úrovne terénu, v ktorej sa nachádza komunikačná miestnosť a ďalšie prevádzkové miestnosti ako napríklad chlorovňa, elektrická rozvodňa alebo hygienické zariadenie. *Vstupná časť* nám zaisťuje prístup do akumulačnej nádrže pomocou schodiska vyvedeného z úrovne podlahy na rampu, z ktorej sú cez spojovací kĺčok prístupné akumulačné nádrže (obr. 4-4). Vstup do akumulačných nádrží musí byť zaistený dverami z nehrdzavejúceho materiálu (*plast*), tesnením a izoláciou a musí byť umiestnený nad úrovňou maximálnej hladiny vody. Armatúrna časť manipulačnej komory je prístupná zo vstupnej časti, do ktorej sa dostaneme pomocou schodiska. Nachádzajú sa tu všetky potrubné rozvody (*prívodné, odberné, výpusťné, prelivné*) s armatúrami, tvarovkami a ďalším potrebným príslušenstvom. V prípade nutnosti prečerpávania vody do vodojemu vyššieho tlakového pásma je v armatúrnej časti inštalovaná čerpacia stanica. [34]

Zemné vodojemy musia spĺňať zásady pre návrh konštrukcie podľa noriem. Dno a steny akumulačnej nádrže musia byť vodotesné. Vodotesnosť overujeme pomocou skúšky vodotesnosti podľa normy ČSN 75 0905. Vodojemy musia byť správne teplotne izolované, aby zaistili tepelnú ochranu a taktiež musia byť izolované od podzemnej alebo povrchovej vody. Na základoch sú osadené revízne šachty pre možnosť identifikácie úniku vody z nádrže. Dno nádrže musí byť vyspádované pomocou zberných žlabov s minimálnym sklonom 2%. [34]

Všetky zámočnické diely sa odporúčajú vyrábať z nehrdzavejúceho materiálu. Osvetlenie vnútorných priestorov vodojemu sa prevádza pomocou umelého osvetlenia. Ak nie je zaistený trvalý prívod elektrickej energie, musí byť k dispozícii prenosne napájacie zariadenie. Každá akumulčná nádrž musí obsahovať filtračné zariadenie a vetracie zariadenie, ktoré je nainštalované nad najvyššou hladinou vody. [34]

Zemné vodojemy sa rozdeľujú podľa tvaru akumulčnej nádrže na 3 základné typy:

A) Železobetónové vodojemy valcového tvaru

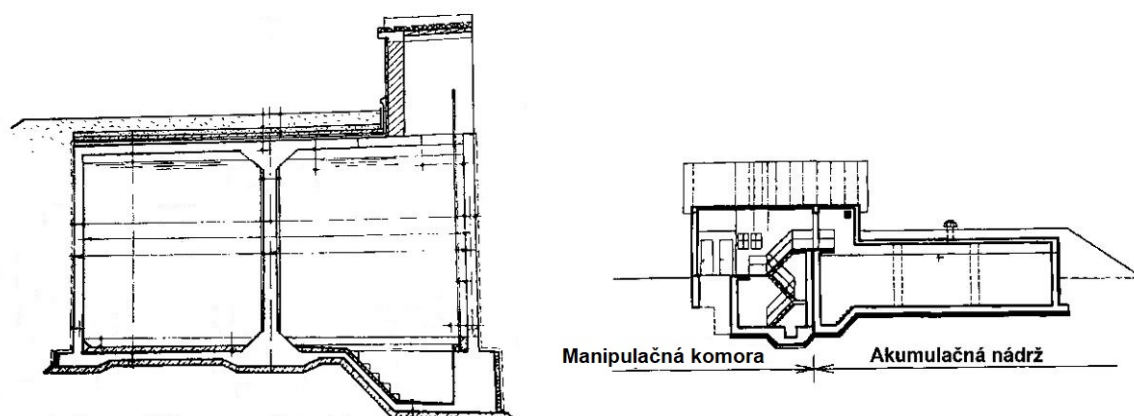
Akumulčná nádrž takýchto vodojemov má valcový tvar a je vyrábaná dvomi technológiami. Výhodou valcových nádrží sú priaznivejšie statické parametre a riešenia, vďaka ktorým sa môžu používať menšie hrúbky stien nádrže. Nevýhodou je nutnosť zabezpečiť väčšie stavebné priestory. [34]

➤ Monolitické valcové nádrže

Dno je zložené z monolitckej dosky vystuženej krížom. Steny nádrže sú z monolitického železobetónu. Strop nádrže je železobetónová monolitická krížom vystužená doska, ktorá je pri nádržoch do objemu 100 m³ uložená na obvodových stenách a u nádrží do objemu 400 m³ je podporovaná jedným stredovým stĺpom. [34]

➤ Prefabrikované valcové nádrže

Nádrže majú tvar mnohouholníkov a prefabrikujú sa len steny a strop pričom dno je monolitická železobetónová doska. Ich hlavné prednosti sú rýchla montáž, vylúčenie mokrých procesov, úspora debnenia, výrazné zníženie podielu ručnej práce a záruka vysokej kvality betónu a rozmerových presností prefabrikátov. Nevýhoda týchto nádrží je zaistenie dokonalej vodotesnosti stien v styčných škárach medzi jednotlivými stenovými panelmi a vodorovne škáry medzi stenou a dnom nádrže. [34]



obr. 4-4 Naľavo je znázornený monolitický vodojem s valcovou nádržou a napravo monolitický vodojem s pravouhlou nádržou. Pohľady sú prevádzané v rezoch. [34]

B) Železobetónové vodojemy pravouhlého tvaru

Akumulačná nádrž má tvar kvádra. V porovnaní s valcovými nádržami využívajú lepšie stavebný pozemok a v monolitickom prevedení má menšiu prácnosť pri výrobe. Môžu byť vyrábané vo veľkých rozmeroch, čo pri valcovom tvare nie je možné. Ich nevýhodou sú horšie statické parametre, ktoré vyžadujú väčšiu hrúbku stien než u valcového tvaru. [34]

➤ *Monolitické pravouhlé nádrže*

Dno je zložené zo železobetónovej dosky vystuženej krížom. Steny sú železobetónové dosky s výstužou kolmé na dno nádrže. Strop je železobetónová monolitická doska, ktorá je do objemu 50 m³ uložená na obvodových stenách a pri nádržiach veľkých kubatúr je strop podopieraný sústavou stĺpov. [34]

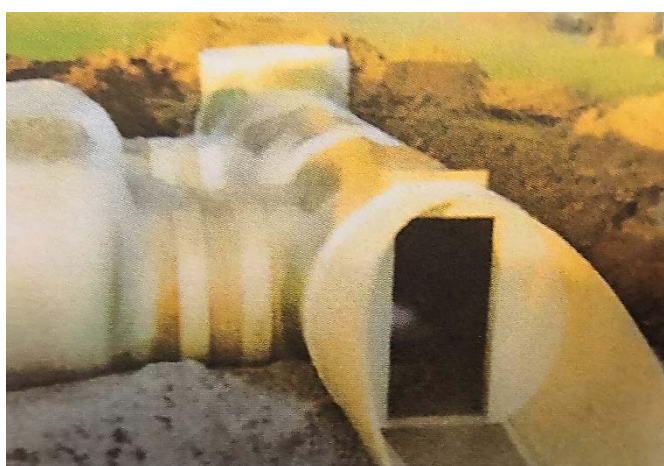
➤ *Prefabrikované pravouhlé nádrže*

U týchto nádrží podobne ako u valcového tvaru sa prefabrikujú len steny a strop pričom dno je monolitická železobetónová doska.

C) Potrubné vodojemy

Vodojemy sú celoprefabrikované zemné vodojemy, ktorých akumulačná nádrž je tvorená z jednej alebo z viacerých pospájaných železobetónových hrdlových trúb typu *DN 1500* horizontálne uložených na betónovom podvale a sedla s vodotesne uzavretými čelami. Ku akumulačnej nádrži sa pripája manipulačná komora kruhového pôdorysu zostavená zo studňových delených skruží.

V dnešnej dobe sa preferuje výhodnejšia a modernejšia varianta potrubných vodojemov, v ktorých sú manipulačné komory a akumulačné nádrže vyrobené zo sklolaminátových potrubí. [34]



obr. 4-5 Potrubný vodojem vyrobený zo sklolaminátových potrubí. [34]

4.2.2 Nadzemné vodojemy

Znakom týchto vodojemov je, že dno akumulačnej nádrže sa nachádza nad úrovňou upraveného terénu. Konštrukcia nadzemných vodojemov sa prevádza až v prípade, že nie je možná konštrukcia zemných vodojemov.

A) Vodojemy na povrchu terénu

Akumulačná nádrž vodojemov na povrchu terénu je nezasypaná. Ďalej obsahuje manipulačnú komoru pridruženú ku nádrži, ktorá je zložená zo vstupnej časti umiestnenej nad povrchom a armatúrnej časti umiestnenej v podzemnej časti vodojemu (*rovnaký princíp ako u zemných vodojemov*). Táto varianta vodojemov sa používa len zriedkavo a to pri nepriaznivých výškových pomeroch terénu, ktoré neumožňujú výstavbu zemných vodojemov (*nedosiahli by sme dostatočné prevýšenie voči najvyššie položenému miestu u spotrebiteľov*) a pri nepriaznivých geologických pomeroch (*skalnatý terén nevhodný pre výkopové práce z hľadiska vysokých cien*).

Konštrukcia vodojemov na povrchu terénu je riešená podobne ako pri zemných vodojemoch (*pravouhlé alebo valcové monolitické a prefabrikované tvary*). Výhodou oproti zemným vodojmom je jednoduchšia konštrukcia, no nevýhodou sú vyššie náklady na tepelné izolácie. [34]

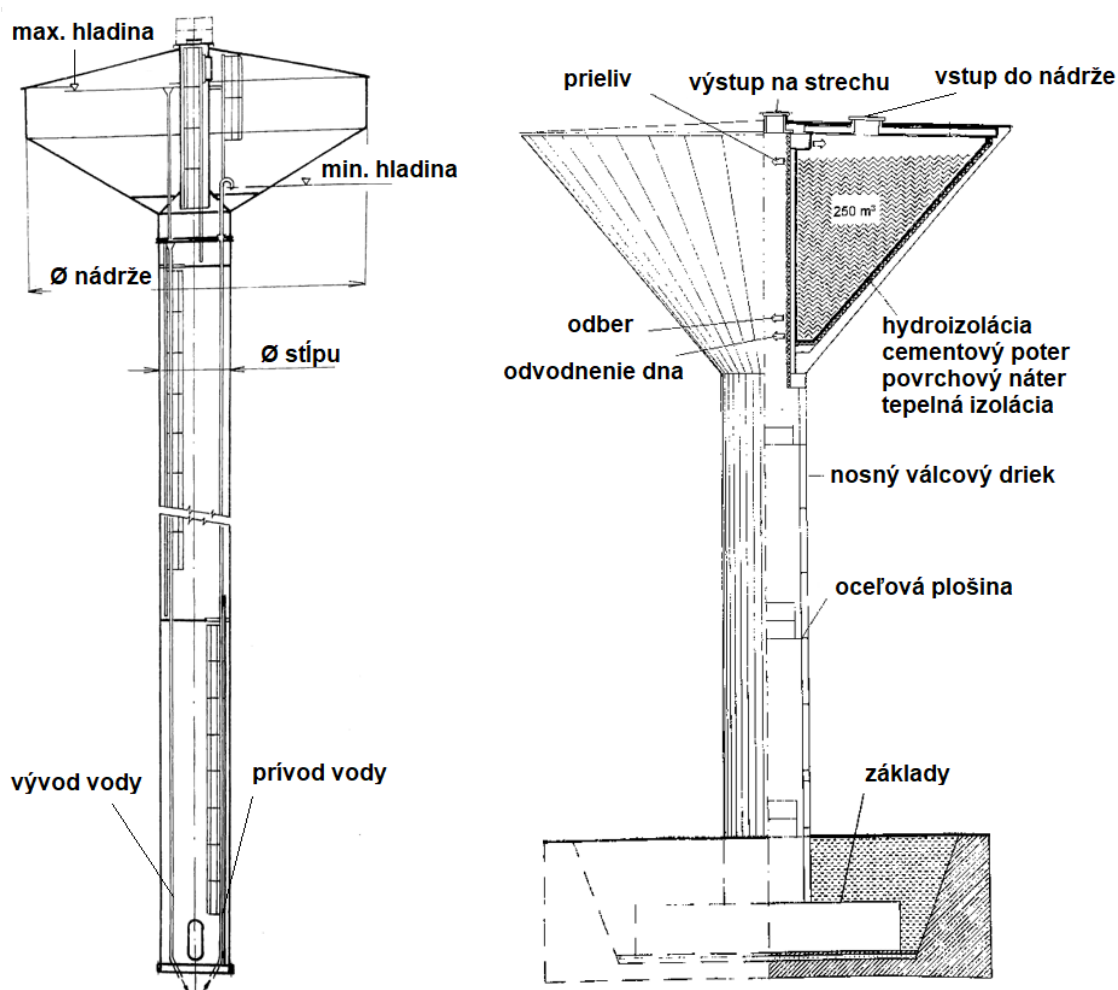
B) Vežové vodojemy

Každá akumulačná nádrž vežových vodojemov je umiestnená nad terénom na nosnej konštrukcii (*driek*), ktorý je umiestnený na železobetónovom základe. Konštrukcia vežových vodojemov sa uplatňuje na rovinnom spotrebnom území výhradne v priemyselných prevádzkach a areáloch, kde plní viacúčelovú funkciu alebo slúžia ku akumulácii prevádzkovej a technologickej vody. Vzhľadom k obmedzenej kapacite akumulačnej nádrže sa u vežových vodojemov nepočíta s požiarou zásobou. [34]

Podľa materiálového prevedenia sa navrhujú dva typy vežových vodojemov:

➤ Ocel'ové vežové vodojemy

Tieto vodojemy majú nosnú konštrukciu a akumulačnú nádrž vyrobenú z ocele, ktoré sú na miesto výstavby dovážané, základ je železobetónová päťka postavená na mieste výstavby. Nosná konštrukcia je riešená ako dutý ocel'ový stĺp, v ktorom sú umiestnené potrubné rozvody (*vyrobené z nerezovej ocele alebo HDPE*), rebrík a elektroinštalácia. Tubus drieku prechádza cez akumulačnú nádrž a pomocou zabudovaných otvorov s poklopmi zabezpečuje vstup do nádrže a na strechu vodojemu. Vnútro akumulačnej nádrže a celá ocel'ová konštrukcia (*vonkajšia aj vnútorná časť*) sú opatrené nehrdzavejúcim náterom. Zvonku je akumulačná nádrž opatrená hliníkovým plechom a tepelnou izoláciou. Vežové vodojemy sú navrhnuté, aby vydržali rýchlosti vetra do 140 km/h a seizmickú odolnosť do 8°M.S.C. [34]



obr. 4-6 Porovnanie konštrukcie súčasných vežových vodojemov. Vľavo je oceľový vežový vodojem a vpravo vežový železobetónový vodojem so zdvíhanou nádržou. [34]

➤ Železobetónové vežové vodojemy so zdvíhanou nádržou

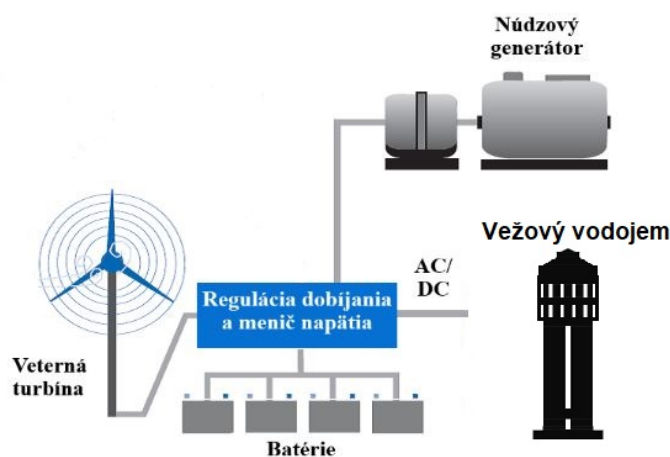
Ich technologický postup výstavby je náročnejší oproti oceľovým vežovým vodojemom, avšak majú lepšie izolačné vlastnosti a odpadá u nich nutnosť protikorozynej ochrany. Technologický postup zahŕňa betonáž základu, montáž nosnej konštrukcie z prefabrikovaných kruhových skruží alebo betonáž do posuvného debnenia, zostavenie debnenia nádrže na povrchu zeme, betonáž nádrže a jej vyzdvihnutie do navrhovanej výškovej úrovne a následne ukotvenie na nosnej konštrukcii.

Základ je navrhnutý ako kruhová železobetónová doska. Nosným valcovým dříkom sú vedené izolované a elektricky vyhrievané potrubia, hromozvody, elektroinštalácie a rebrík s odpočinkovými oceľovými plošinami. Akumulačná nádrž má najčastejšie tvar valca alebo zrezaného kužeľa. Plášť nádrže je vyrobený z monolitického železobetónu s tepelnou izoláciou. [34]

4.3 Vodojemy v spojení s vetrom

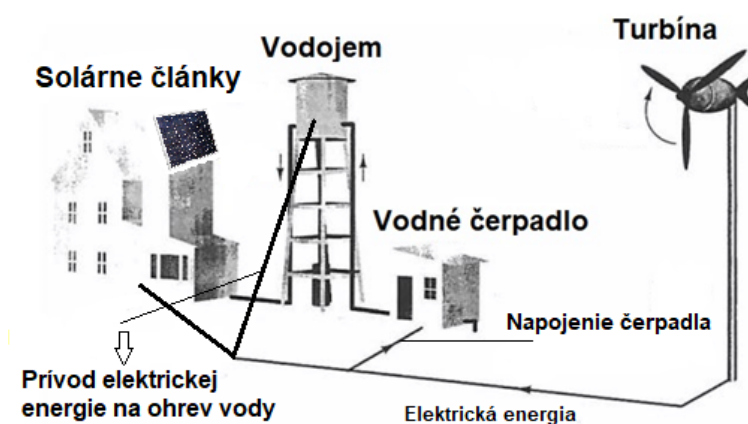
V predošlých kapitolách sme zistili, že hlavnou funkciou veterných elektrární je produkovať elektrickú energiu a hlavnou funkciou veterných čerpadiel je čerpanie vody. Vysvetlili sme si ich princípy fungovania. V tejto poslednej podkapitole využijeme nadobudnuté informácie a zameriame sa na opis možností využitia veternej energie v spojení s vodojemami.

Ak nie je zaistený trvalý prívod elektrickej energie (*miesta bez napojenia na elektrorozvodnú sieť*) do vodojemu, musí byť k dispozícii prenosné napájacie zariadenie, ktoré bude uchovávať elektrickú energiu a zaisťovať chod vodojemu. Namiesto napájacieho zariadenia môžeme privádzať elektrickú energiu prostredníctvom premeny mechanickej energie malých veterných turbín (*náhrada za dieselagregát*) do systému nezávislého od siete (*grid-off*). Tento druh systému nie je pripojený k verejnej elektrickej sieti. Prebytočná energia musí byť uskladňovaná v batériovom úložisku dostatočnej kapacity, podľa výkonu a veľkosti objektu. Z tohoto úložiska je potom energia čerpaná podľa potreby. V prípade nedostačujúceho výkonu a vybitia akumulátorov nastupuje elektrický generátor, ktorý je vo väčšine prípadov poháňaný fosílnymi palivami (*dieselagregát*). Konštrukcia veterných turbín sa môže prevádzať priamo na vežových vodojemoch (*lepšie zachytenie sily vetra*) alebo na teréne nad zemnými vodojemami. Ak konštrukciu umiestnime mimo vodojem je nutné zabezpečiť prívod vyrobenej elektriny do vodojemu (*vyššie náklady na vyvedenie elektriny*).



obr. 4-7 Schéma systému grid-off v spojení s vodojemom. [15]

Vodojem môžeme využívať v domácnostiach, kde nastávajú časté problémy s prívodom vody. Výstavba vodojemu sa prevádza v menších kubatúrach. Pri tejto aplikácii môžeme využiť malú veternú turbínu v kombinácii so solárnymi článkami (môžu byť umiestnené na streche domácnosti). Malá veterná turbína môže čerpať vodu priamo a to ako veterné čerpadlo umiestnené nad zdrojom vody alebo ako elektrické veterné čerpadlo umiestnené mimo zdroja vody. Ak sa jedná o prvú variantu, ohrev vody zabezpečujú len solárne články, no ak by sme použili druhú variantu, potom by voda mohla byť zohrievaná aj pomocou nespotrebovanej elektrickej energie, ktorú vyrobila veterná turbína. Opäť sa jedná o zapojenie do siete grid-off.



obr. 4-8 Zásobovanie domácnosti ohriatou vodou pomocou veternej turbíny v sieti GRID-OFF. [39]

Vodojemy nachádzajú svoje uplatnenie aj vo viniciach, kde plnia zásobnú funkciu. Aby sme mohli zavlažovať vinicu a monitorovať jej stav prostredníctvom meteorologickej stanice musíme mať prístup ku elektrickej energii. Ak vinice nemajú prístup k elektrorozvodnej sieti môže sa ako zdroj energie použiť veterná horizontálna turbína (*Savoniova alebo Darriesova*), ktoré môžu byť umiestnené priamo na vodojeme. Ďalej sa energia môže využiť napríklad na ohrev vody vo vodojeme v zimných mesiacoch.

Vysoký podiel rozpusteného kyslíka podporuje zdravý vodný ekosystém, ktorý umožňuje prosperovať rybám, korytnačkám a ďalšiemu vodnému životu. Ďalšie uplatnenie vodojemu je pri okysličovaní vody v rybníkoch. Vodojem slúži ako akumulčná nádrž pre vodu, ktorý je umiestnený na vodnej ploche. Jeho súčasťou je prevzdušňovacie zariadenie a veterná turbína, ktoré zabezpečujú proces okysličovania. Toto zariadenie je vďaka turbíne sebestačné.

Niektoré vežové vodojemy na území Českej a Slovenskej republiky sú zničené a mimo prevádzky. Z hľadiska akumulácie vody sú dané vodojemy už nevyužiteľné (*spotrebné územie vybudovalo iný systém, ktorý nahradil funkciu vodojemu*). Preto by som navrhol využiť vežové vodojemy ako turistickú atrakciu (*napríklad rozhľadňa alebo galéria, ateliéry*), ktorú by ľudia mohli navštevovať. Pri rekonštrukcií sa môžu na vežové vodojemy namontovať veterné turbíny, ktoré využijeme ako zdroj energie pre osvetlenie turistickej atrakcie a nevyužitú energiu odvádzať do elektrorozvodnej siete.

5 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo vypracovať čo najrozsiahlejšiu rešerš, ktorá sa zaoberá popisom a funkciou existujúcich veterných elektrární / čerpadiel a ich následné využitie v spojení s vodojemami.

V prvej kapitole boli uvedené základné fyzikálne pojmy, ktoré popisujú premenu kinetickej energie vetra na elektrickú energiu veternej elektrárne produkovanú generátorom. Následne som rozdelil veterné elektrárne podľa veľkosti na malé a veľké veterné elektrárne (*strednú kategóriu som nezahrnul z dôvodu nízkej využiteľnosti*). Pri veľkých veterných elektrárňach boli uvedené princípy fungovania základných častí, ekonomika, štatistiky, vlastnosti (*výhody a nevýhody*) a taktiež som poukázal na rozdiely medzi veternými elektrárňami na pevnine a na mori (*onshore a offshore*). V druhej časti som riešil problematiku malých veterných elektrární. Rozdelil som ich podľa spôsobu otáčania rotora na malé veterné elektrárne s horizontálnou osou otáčania a s vertikálnou osou otáčania. Malé veterné turbíny nachádzajú uplatnenie hlavne v lokálnych aplikáciách alebo pri zásobovaní elektrinou v miestach bez pripojenia na verejnú elektrorozvodnú sieť. Popisoval som princípy fungovania daných turbín a pre každú z nich som vybral komerčne vyrábanú malú veternú elektráreň, ktorá využíva daný typ rotora. Každá z uvedených turbín mala určité výhody a nevýhody voči ostatným.

Druhá kapitola bola venovaná opisu princípov fungovania veterných elektrární, ktoré boli publikované, ale reálne vo svete ešte nenašli svoje uplatnenie. Vybral som štyri navrhnuté veterné elektrárne, ktoré môžu v budúcnosti nahradiť produkciu elektriny dnešných veľkých veterných elektrární. Prvá uvedená veterná elektráreň je hybridná (*veterná a solárna*) a využíva princíp premeny vody na vzduch, ktorý je ťažší a chladnejší ako okolitý teplejší vzduch. Druhá veterná elektráreň premieňa kinetickú energiu vetra na elektrickú bez potreby rotorovej súčasti. Tretia využíva osciláciu vo vetre a posledná elektráreň premieňa veternú energiu pomocou „krídíel“, ktoré dokonale napodobňujú pohyb jedného z energeticky najúčinnějších vtákov - kolibríka.

V tretej kapitole boli podrobne popísané princípy fungovania základných častí veterného čerpadla. Veterné čerpadlá sú svojim princípom veľmi jednoduché zariadenia a využívajú podobný mechanizmus ako veterné elektrárne. Následne som opisoval výrobné náklady veterných čerpadiel. Vybral som si komerčnú firmu *TURBEX*, ktorá zabezpečuje výrobu rôznych typov veterných čerpadiel. Opisoval som vlastnosti jednotlivých typov veterných čerpadiel od firmy *TURBEX* a v tabuľke som uviedol prehľad výrobných cien. Na konci kapitoly som spomenul, že veterné čerpadlá môžu používať aj iný čerpací mechanizmus ako klasický piestový (*najpoužívanejší*) a zároveň môžu využívať transformáciu na elektrickú energiu.

Posledná kapitola je rozdelená na dve časti. V prvej časti som sa venoval umiestneniu vodojemov voči spotrebiteľovi, ich konštrukciou a fungovaniu. Bolo poukázané na to, že konštrukcia nadzemných vodojemov sa prevádza až v prípade, že nie je možná konštrukcia zemných vodojemov. Toto pravidlo obsahuje výnimku, pretože pri konštrukcii vodojemu v spotrebnom území sa musí použiť výhradne vežový vodojem vybudovaný na rovinatej ploche. V druhej časti boli využité poznatky z predošlých kapitol ku spojeniu veterných elektrární / čerpadiel s vodojemami a ich následné využitie.

6 ZOZNAM ZDROJOV

- [1] BENDA, Vítězslav, Helena DOLEŽALOVÁ, Peter DUŠIČKA a David HANSLIAN. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Vydavatelství odborného tisku Profi Press s. r. o., 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [2] CROME, Horst. *Technika využití energie větru*. 1. české v. Ostrava: TISKSEVIS, 2002. ISBN 80-86167-19-4.
- [3] DOBÁKOVÁ, Romana. Veterná elektrárne. *posterus* [online]. 2014 [vid. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=17161>
- [4] CENEK, Miroslav, Jiří BERANOVSKÝ, Karel BROŽ a Karol FILAKOVSKÝ. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC PUBLIC 2001, 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [5] HALIADE-X OFFSHORE WIND TURBINE PLATFORM. *GE Renewable Energy* [online]. 2019 [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>
- [6] WIND EUROPE. Offshore wind in Europe. *Refocus* [online]. 2018 [vid. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://windeurope.org/about-wind/statistics/offshore/>
- [7] MAGULÁKOVÁ, Lenka a Miriam PEKARČÍKOVÁ. *NÁKLADY SPOJENÉ S VÝSTAVBOU VETERNEJ ELEKTRÁRNE* [online]. B.m., 2011. Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta Katedra environmentalistiky. Dostupné z: [https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2011/index.files/clanky/Lenka Magulakova Miriam Pekacikova Naklady.pdf](https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2011/index.files/clanky/Lenka%20Magulakova%20Miriam%20Pekacikova%20Naklady.pdf)
- [8] Výkupní ceny a zelené bonusy na elektřinu. *Energetický regulační úřad* [online]. 2018 [vid. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/-/energeticky-regulacni-vestnik-11-2018>
- [9] WIND EUROPE. *Wind energy in Europe in 2018: Trends and statistics* [online]. 2019 [vid. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/wind-energy-in-europe-in-2018/>
- [10] EARTHLAB a David HOGAN. 7 Pros and Cons of Wind Energy. *Conserve Energy Future* [online]. [vid. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.conserve-energy-future.com/pros-and-cons-of-wind-energy.php>
- [11] POŠIK, Ján. Veterné elektrárne. *posterus* [online]. 2011 [vid. 2019-02-14]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=11191>
- [12] KAŠINSKÝ, Ján. *Obnovitelné zdroje a jejich spolehlivost* [online]. 2019 [vid. 2019-02-01]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/nazory/obnovitelne-zdroje-spolehlivost/?fbclid=IwAR2oV7mW_2bSKKKgjqcJcp5TwegkLZhgyAq_RK8oVbF4EjYwNVyWD9EqKes
- [13] BRATLEY, James. Advantages & Disadvantages of Wind Energy. *cleanenergyideas* [online]. 2019 [vid. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.clean-energy-ideas.com/wind/wind-energy/advantages-and-disadvantages-of-wind-energy/>
- [14] ŠTERBEROVÁ, Lenka. *Malá větrná elektrárna feasibility study* [online]. B.m., 2018. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, obor Elektrotechnika, energetika a management, Vedoucí práce: Ing. Karhan Marek. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/76216>
- [15] ŽABKA, Marek. *Aerodynamický návrh větrné turbíny pro zvolenou lokalitu*. B.m., 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 99 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.
- [16] PAVELKA, J. a J. RYCHETNÍK. *Větrné motory a elektrárny* [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7. Dostupné z: http://aleph.lib.cas.cz/F/?func=direct&doc_number=000015008&local_base=AV
- [17] ŠTOLCOVÁ, Tatiana. *Malé veterné turbíny* [online]. B.m., 2011. Technická univerzita V Bratislave, Strojnícka fakulta. Dostupné z: https://is.stuba.sk/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=2226;studium=74052;zp=28228;download_race=1;lang=sk
- [18] Windside. *Windside Production* [online]. [vid. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.windside.com/>
- [19] SESZTÁK, Ján. *Malá veterná elektrárne - zdroj nevyčerpatelnej energie*. *vyvoj.hw.cz* [online]. 2010 [vid. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/novinky/mala-veterna-elektraren-zdroj-nevyčerpatelnej-energie.html>

- [20] SOLAR WIND ENERGY, Inc. *SOLAR WIND ENERGY TOWER* [online]. 2014 [vid. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.solarwindenergytower.com/index.html>
- [21] DESIGN BUILD NETWORK. The Dutch Wind Wheel, Rotterdam. *Verdict Media Limited* [online]. 2019 [vid. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.designbuild-network.com/projects/the-dutch-wind-wheel-rotterdam/>
- [22] WINDWHEEL CORPORATION. *The Dutch Windwheel* [online]. [vid. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://dutchwindwheel.com/en/index>
- [23] FISCHER, Johnathan. EWICON bladeless wind turbine generates electricity using charged water droplets. *TrendMD* [online]. 2013 [vid. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://newatlas.com/ewicon-bladeless-wind-turbine/26907/>
- [24] DJAIRAM, Dhiradj. *The Electrostatic Wind Energy Converter* [online]. B.m., 2008. Technische Universiteit Delft. Dostupné z: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:e1cfdada-85ea-45c4-b6e4-b798abf5917e>
- [25] TABLANG, Kristin. Introducing The Dutch Windwheel: An Ultra-Green, Cutting-Edge „Powerhouse” Proposed For Rotterdam. *Forbes Media* [online]. 2015 [vid. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/kristintablang/2015/05/11/the-dutch-windwheel-rotterdam-netherlands/#3e46c435d3f5>
- [26] Vortex Bladeless Turbine. *Vortex* [online]. [vid. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://vortexbladeless.com/>
- [27] PROCHÁZKA, Juraj. Bezlopatkové turbíny „vytrasú“ z vetra elektrinu. *TECHBOX s.r.o.* [online]. 2015 [vid. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://techbox.dennikn.sk/bezlopatkove-turbiny-vytrasu-z-vetra-elektzinu/>
- [28] Tyer wind technology. *TYERWIND* [online]. 2017 [vid. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://www.tyerwind.com/technology/>
- [29] KOČ, Břetislav. Větrná čerpadla od westernů k současnosti. *TRÍPOL* [online]. 2017 [vid. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1950-vetna-cerpadla-od-westernu-k-soucasnosti>
- [30] How Water Pumping Windmills Work. *IRONMAN WINDMILL CO. TM* [online]. 2017 [vid. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.ironmanwindmill.com/how-windmills-work.htm>
- [31] ČERVINKOVA, Kateřina. *Využití větrné energie pro dopravu kapalin* [online]. B.m., 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/101088?zp_id=101088
- [32] How do Check Valves Function, and Why would they be Selected over other Valve Types? *EMPOWERING pumps and equipment* [online]. 2014 [vid. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://empoweringpumps.com/how-do-check-valves-function-and-why-would-they-be-selected-over-other-valve-types/>
- [33] Turbex Pumps and Power Turbex Windmills. *Turbex*. 2016.
- [34] CHEJNOVSKÝ, Pavel. *ZDRAVOTNÍ VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY*. Akumulace. Praha: Informatorium, 2011. ISBN 978-80-7333-089-7.
- [35] ENERCON E-82 E4 / 3,0 MW. *ENERCON* [online]. 2016 [vid. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.enercon.de/en/products/ep-2/e-82/>
- [36] VESELSKÝ, Dano. Větrná elektrárna v meste Bruck an der Leitha. *TZB Haustechnik* [online]. 2010 [vid. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/technicke-zariadenia-budov/energie/veterna-elektren-vmeste-bruck-an-der-leitha>
- [37] LUCAS BAUER & SILVIO MATYSIK. Fuhrländer FL 2500/90. *wind-turbine-models* [online]. [vid. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/83-fuhrlaender-fl-2500-90>
- [38] *Wind pump Mechanism* [online]. [vid. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=BugXmDxC0WM&t=194s>
- [39] Wind Storage tank Rotation Water Pump Electric power. *CheggStudy* [online]. [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/ii-wind-storage-tank-rotation-water-pump-electric-power-figure-17-rural-wind-power-generat-q17862184>

7 ZOZNAM OBRÁZKOV

obr. 1-1 Výkonová krivka veternej elektrárne Enercon E-82 E4 o inštalovanom výkone 3,0MW. [35]	17
obr. 1-2 Veterná elektráreň v meste Bruck an der Leitha (priemer rotora 70m, výška veže 65m, celkový výkon 9000kW). [36].....	17
obr. 1-3 Veterná elektráreň Laasow typu Fuhrländer FL 2500 (priemer rotora 90m, inštalovaný výkon 2,5MW). S výškou 160m bola dlho najvyššia elektráreň na svete. [37].....	18
obr. 1-4 Bežné usporiadanie pohonu veternej turbíny. [15].....	19
obr. 1-5 koncept veternej turbíny HELIADE-X o výkone 12MW. [5].....	20
obr. 1-6 Rozdelenie prevádzkových a údržbových nákladov veternej elektrárne. [7]	21
obr. 1-7 Rozdelenie investícií do OZE pre rok 2018. [9].....	22
obr. 1-8 Celková generovaná energia v EÚ od roku 2008-2018. [9].....	23
obr. 1-9 Špirálovitý dizajn veternej turbíny WINDSIDE WS-4B. [18].....	25
obr. 1-10 Typy Darrieusových rotorov. [15].....	26
obr. 1-11 Dizajn a rozmery veternej turbíny DS-1500W inštalovaný v Hong-Kongu. [17].....	27
obr. 1-12 Výkonová krivka veternej turbíny DS-1500W. [17].....	27
obr. 1-13 Kombinácia veternej turbíny AIR BREEZE so solárnymi článkami. [19]	28
obr. 2-1 Model hybridnej technológie SOLAR-WIND Tower. [20].....	29
obr. 2-2 Porovnanie solárnej, veternej a hybridnej farmy pri ročnej výrobe 5 000 GWh. [20]	30
obr. 2-3 princíp fungovania holandského veterného kolesa. [22]	31
obr. 2-4 Princíp funkcie systému EWICON. [24].....	32
obr. 2-5 Komponenty veternej turbíny typu Vortex bladeless. [26]	33
obr. 2-6 koncept farmy obsahujúci turbíny TYER wind. [28].....	34
obr. 3-1 Časti rotora veterného čerpadla. [30]	36
obr. 3-2 Konštrukcia prevodovky veterného čerpadla v dolnej pozícii využívajúca dve sady ozubených kôl a ojníc. [38].....	36
obr. 3-3 Otvorený tanierový ventil vľavo a otvorený guľový ventil vpravo. [31].....	38
obr. 3-4 Komponenty čerpaceho systému s otvoreným spätným ventilom, ktorý je poháňaný vetrom. [30]	38
obr. 3-5 Prúťový stožiar ukotvený v železobetónovom základe. [30]	39
obr. 3-6 Pohľad zhora na konštrukciu veterného chvostu obsahujúca kormidlo. [38].....	40
obr. 3-7 Princíp fungovania inerčného čerpadla naľavo a princíp fungovania pasového čerpadla napravo. [17].....	41
obr. 4-1 Znázornenie vodojemu v spotrebnom území. 1 – čiara energie pri plnení vodojemu, 2 – čiary energie pri zásobení z vodojemu. [34].....	44
obr. 4-2 Znázornenie pásmového vodojemu. [34].....	45
obr. 4-3 Znázornenie čelného (zásobovacieho) a koncového (vyrovnávacieho) vodojemu. 1 – čiara energie pri plnení vyrovnávacieho vodojemu, 2 – čiary energie pri súčasnom zásobovaní obomi vodojemami, 3 – čiara energie pri použití len jedného zásobovacieho vodojemu. [34].....	45
obr. 4-4 Naľavo je znázornený monolitický vodojem s valcovou nádržou a napravo monolitický vodojem s pravouhlou nádržou. Pohľady sú prevádzane v rezoch. [34].....	47
obr. 4-5 Potrubný vodojem vyrobený zo sklolaminátových potrubí. [34].....	48
obr. 4-6 Porovnanie konštrukcie súčasných vežových vodojemov. Vľavo je oceľový vežový vodojem a vpravo vežový železobetónový vodojem so zdvíhanou nádržou. [34].....	50
obr. 4-7 Schéma systému grid-off v spojení s vodojemom. [15].....	51
obr. 4-8 Zásobovanie domácnosti ohriatou vodou pomocou veternej turbíny v sieti GRID-OFF. [39].	52

8 ZOZNAM TABULIEK

tab. 1 Porovnanie výkupných cien a ročných zelených bonusov na elektrinu pre veterné elektrárne od roku 2003 do roku 2019. [8]	21
tab. 2 Štruktúra výrobných nákladov pre typickú 2MW veternú elektráreň inštalovanú na pevnine.[1]22	
tab. 3 Technické špecifikácie WINDSIDE WS-4B. [18]	26
tab. 4 parametre konceptu turbíny TYER wind. [28]	34
tab. 5 Vlastnosti jednotlivých typov veterných čerpadiel firmy TURBEX a výrobné ceny položiek, ktoré obsahuje typ veterného čerpadla TURBEX 3,3 [m]. [33]	41
tab. 6 Rozdelenie zemných vodojemov podľa objemu. [34]	46